

UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO

EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS
POLICICLICOS EN LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO DE
VEGA BAJA, PUERTO RICO

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental

Por
Yaritzis Cassidy Nun

12 de Mayo de 2011

DEDICATORIA

*A ti por creer fielmente en mí y ser
mi musa desde el más allá.*

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecerle a todos los que hicieron este proyecto posible. Primero que todo, al Dr. Neftalí García por contribuir al comienzo de este proyecto. A través de sus recursos pudimos identificar un predio ideal para llevarlo a cabo e información pertinente al mismo. Con su ayuda y conocimiento pudimos moldear el proyecto.

A Eduardo González de la Agencia de Protección Ambiental, le agradezco la aportación al proyecto ya que estuvo presente durante el muestreo y ofreció mentoría. Respecto al proceso de muestreo también deseo agradecer a Pablo Pérez, encargado de operaciones del Sistema de Relleno Sanitario de Vega Baja por permitirnos acceso al predio y mostrarnos las características del mismo.

Último, pero no menos importante, agradecemos a Juan Redondo de Pace Analytical por facilitarnos el equipo de toma de muestras y seguridad utilizado, y por los servicios prestados para el análisis de muestras.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE APÉNDICES	ix
LISTA DE SÍMBOLOS O ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema	1
Problema de estudio	1
Justificación	3
Preguntas de investigación	3
Meta	4
Objetivos	4
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Trasfondo histórico	5
Caracterización de los PAHs	14
Manejo de los desperdicios sólidos no peligrosos	26
Estudios de caso	27
Marco legal.....	29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	37
Área de estudio	37
Periodo del estudio	38
Puntos de muestreo	38
Parámetros analizados	39
Rotulación y documentación del muestreo	41
Preservación y manejo de la muestra	41
Medidas de seguridad	41

Descripción del muestreo	41
Riesgo para comunidades potencialmente expuestas	42
Análisis espacial para la identificación de pozos de abastecimiento.....	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
Introducción	45
Objetivos realizados	45
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
Recomendaciones	47
Limitaciones	49
LITERATURA CITADA.....	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de Pozos de AAA activos	56
Tabla 2. Datos generales adquiridos in situ	58
Tabla 3. Resultados de detección de PAHs en muestras	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. SRS del Municipio de Vega Baja	66
Figura 2 Zona Cárstica del Norte	67
Figura 3. Mapa de la geología general del cuadrante de Manatí – Vega Baja	68
Figura 4. Hidrogeología general de la costa norte del cuadrante Manatí – Vega	69
Figura 5. Puntos de muestreo designados para el área de estudio.....	70
Figura 6. Comunidades aledañas al área de estudio	71
Figura 7. Lugares designados como Superfondo en el Municipio de Vega Baja	72
Figura 8. Pozos de Agua Potable Identificados por PRASA.....	73
Figura 9. Dirección del flujo de aguas subterráneas propuesta por USGS	74

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Hoja de Recolección de Datos de muestreo de lixiviados.....	76
Apéndice 2.	Etiquetado de los frascos de muestras de lixiviados para análisis de PAH por el método EPA 8270c	78
Apéndice 3.	Cadena de Custodio	80

LISTA DE SIMBOLOS O ABREVIATURAS

ACT	Autoridad de Carreteras y Transportación
ADS	Autoridad de Desperdicios Sólidos
ASTDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades
CFR	Código de Reglamentaciones Federales
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
DRNA	Departamento de Recursos Naturales Ambientales
EPA	Agencia de Protección Ambiental
GIS	Sistema de Información Geográfica
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
JCA	Junta de Calidad Ambiental
JP	Junta de Planificación
NPL	Lista de Prioridad Nacional
OD	Oxígeno disuelto
PAH	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
SDWA	Ley Federal de Agua Potable Segura
SRS	Sistema de Relleno Sanitario
USGS	United States Geological Survey

RESUMEN

Tomamos muestras de los lixiviados del Sistema de Relleno Sanitario de Vega Baja con el fin de evaluar la presencia hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) lo cual nos permitirá determinar el riesgo potencial de exposición de comunidades cercanas por el flujo natural de las aguas subterráneas y el río Cibuco. Utilizando el método 8270 c de la Agencia de Protección Ambiental, analizamos muestras tomadas de dos charcas de recogido de lixiviados y de un tributario al Río Cibuco adyacente al SRS de Vega Baja. Hicimos un análisis de la correlación de la posibilidad de que, de estar presente, estos compuestos aromáticos estuvieran contaminando los acuíferos de la Zona Cárstica del Norte de Puerto Rico y por medio de éstos a los habitantes de las comunidades aledañas. Dicho análisis se llevo a cabo mediante la utilización de mapas e información recopilada del USGS. No encontramos presencia de PAHs en las muestras de lixiviados y de agua tomadas durante nuestra investigación. Al comparar los movimientos de agua subterránea con la posición del SRS determinamos que la posibilidad de contaminación a estos pozos es mínima ya que la substracción de agua para servicio a la comunidad ocurre antes de que las aguas pasen por los acuíferos más cercanos. Aun así no descartamos la posibilidad de que la recirculación de agua subterránea permita la contaminación de los acuíferos debido a las operaciones del SRS de Vega Baja por otros contaminantes o por PAHs creados luego de un incendio en los predios para el 2010.

ABSTRACT

The presence of PAHs at the Vega Baja Municipal Landfill is to be determined in order to pinpoint the potential of these compounds to adversely affect the health of the residents at nearby communities. To do so, we took samples of leachate and water at the site. The leachate samples were acquired from two collection pools at the dumping site and the water samples were taken from a stream that arrives at the Cibuco River. We used the 8270c method of semi-volatile chemicals sampling of the Environmental Protection Agency to determine the presence of PAHs that could potentially contaminate the ground water of nearby aquifers. Also we used maps and information from the United States Geological Survey to determine the likelihood of these contaminants to percolate into the ground water system of the North Karst, therefore contaminating the drinking water of the community. The location of drinking water wells was compared to the proposed flow of water for the aquifers in this area. As a result of our testing, PAHs were not detected at the leachate ponds or the tributary of the Rio Cibuco River. Although our theory was not proven right, we do not rule out the possibility of the ground water being contaminated by the poorly managed landfill. This is most probable because of the incident of a fire in 2010, after we had completed the sampling, which might have resulted in the formation of these harmful compounds.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

El manejo de los desperdicios sólidos representa un riesgo a la salud pública y al ambiente. En Puerto Rico, la mayor parte del manejo de los desperdicios sólidos se lleva a cabo a través del uso de sistemas de relleno sanitario (SRS). Dichos sistemas de relleno, debido a la descomposición de material orgánico y la percolación de lluvia a través del mismo, producen lixiviados. Los lixiviados están compuestos de diferentes tipos de sustancias que usualmente no se encontrarían en la naturaleza.

Los lixiviados tienen una consistencia líquida, lo cual permite la percolación de éstos al fondo del vertedero y luego a través del suelo incorporándose a las aguas subterráneas en acuíferos bajo los terrenos designados para el vertedero o bajo los terrenos limítrofes. El agua del acuífero es usada para abastecimiento de agua potable mediante el uso de pozos. El agua de los pozos, a su vez, es distribuida a las comunidades limítrofes y ésta se utiliza tanto para consumo como para llevar a cabo tareas domésticas. De esta manera, los residentes de las comunidades aledañas a los pozos con aguas contaminadas de lixiviados se encuentran en riesgo de exponerse a concentraciones de sustancias y/o xenobióticos que pueden resultar en efectos adversos a su salud.

Problema de estudio

Los PAHs se encuentran en el ambiente de forma natural y también pueden ser resultado de actividades antropogénicas. Muchas combinaciones de PAHs se forman de

procesos de combustión incompleta de basura, gasolina, petróleo y carbón (EPA, 2008). Los PAHs han sido identificados como cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos (Singh, Patel, Ram, Mathur, Siddiqui & Behari 2008).

El manejo de los sistemas de relleno sanitario en la Isla no ha sido efectivo para desviar los desperdicios orgánicos y por ende los mismos llegan al vertedero. El vertedero de Vega Baja fue construido sin una cobertura inicial para evitar la percolación de lixiviados a través del suelo y aunque se conoce la producción de éstos, los mismos no fueron monitoreados ni existe documentación que determine si se llevaron a cabo estudios con este fin.

En un estudio realizado por Morales (2007) para caracterizar los lixiviados del relleno sanitario del municipio de Florida, se determinó la presencia de metales pesados. Dichos metales pesados también fueron detectados en los pozos más cercanos a la zona de estudio y en un río adyacente. Dichos pozos de agua potable abastecen a las comunidades aledañas. Por tal razón, de los PAHs estar presente en los lixiviados del SRS de Vega Baja, existe una gran probabilidad de que los mismos también se detecten en los pozos que abastecen la comunidad lo cual representaría un riesgo para la salud pública.

El SRS del municipio de Vega Baja ha sido designado para cierre por la Agencia de Protección Ambiental Federal de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés) desde el 2006. Dicho proceso conlleva un protocolo, por lo cual dicha instalación no ha cesado operaciones. La actividad del SRS de Vega Baja sigue generando lixiviados provenientes del manejo de desperdicios sólidos en el área.

Justificación del estudio

La determinación de la presencia de los hidrocarburos aromáticos policíclicos en los lixiviados del sistema de relleno sanitario (SRS) del municipio de Vega Baja nos permitirá evaluar el riesgo que los mismos representan. De estar presentes estos compuestos en el agua que consumimos y entendiendo la naturaleza de los mismos, entonces habría una necesidad de evaluar si la exposición a éstos podría resultar en la incidencia de cáncer en el municipio. Las enfermedades que puedan resultar de la contaminación ambiental nos conciernen a todos.

Ya que la presencia de metales pesados nocivos a la salud en los lixiviados del SRS de Florida ha sido detectada (Morales, 2007) y la notificación de cierre de la EPA apunta al manejo deficiente del vertedero, es sumamente necesario considerar a qué otros peligros se le está exponiendo a las comunidades vecinas a la instalación de Vega Baja que pertenece también al acuífero del norte.

Preguntas de investigación

Como parte de este estudio, nos proponemos contestar las siguientes interrogantes:

1. ¿Existen hidrocarburos aromáticos policíclicos en los lixiviados de SRS de Vega Baja?
2. ¿Se pueden identificar fuentes de exposición directas de dichos lixiviados a las comunidades de la zona de estudio?

Meta

Nos proponemos evaluar la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los lixiviados del Sistema de Relleno Sanitario del municipio de Vega Baja para determinar el riesgo potencial de exposición de las comunidades cercanas por medio del flujo natural de las aguas subterráneas y el río Cibuco, su utilización como fuente de agua potable y la distancia de éstas con relación al vertedero.

Objetivos

Los objetivos de este estudio son:

1. Detectar hidrocarburos aromáticos policíclicos presentes en los lixiviados del SRS de Vega Baja para evaluar la posible resurgencia de los mismos en los pozos cercanos al área de estudio.
2. Realizar un análisis espacial para identificar pozos de abastecimiento en las comunidades cercanas y el movimiento de aguas subterráneas mediante la utilización de mapas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

El municipio de Vega Baja contaba originalmente con un vertedero de 74 cuerdas fundado en el año 1948. Las mismas se encontraban localizadas en el Barrio Río Abajo. El predio antes mencionado no cumplía con las regulaciones exigidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y de la Junta de Calidad Ambiental (JCA). Las violaciones en las cuales incurría la operación del vertedero incluían la quema abierta de desperdicios sólidos, el vertido abierto de éstos y el establecimiento de unas 200 residencias dentro del predio. Por tal razón, el municipio fue multado por la JCA y el vertedero fue destinado a cierre. En julio 22 de 1999, el lugar fue incluido en la Lista de Prioridad Nacional (NPL, por sus siglas en inglés) de la EPA. Al mes siguiente EPA dio comienzo a una acción de remoción crítica en el lugar (EPA, 2007b).

Dada la inminente clausura del vertedero de Río Abajo, en 1973 los funcionarios gubernamentales comenzaron a discutir posibles localidades para la construcción de un sistema de relleno sanitario (SRS) en Vega Baja. Las localidades propuestas fueron los barrios Cabo Caribe, Pugnado Afuera y Cibuco. En un comunicado fechado el día 11 de diciembre de 1975, el entonces secretario de agricultura, el Sr. Antonio González Chapel, expuso que no estaba de acuerdo con la localización del vertedero en el Bo. Cibuco ya que el proyecto afectaría la ganadería en la zona. No obstante los endosos para dicha localización llegaron del Departamento de Salud el 20 de enero del 1976, la Autoridad de Tierras el 15 de noviembre del mismo año, el Departamento de Transportación y Obras

Públicas y la JCA el 24 de enero de 1977 seguido por la Junta de Planificación el 3 de febrero del mismo año.

El 28 de junio de 1976, la Autoridad de Carreteras presentó un estudio de subsuelo llevado a cabo en la Finca Cibuco (ACT, 1976). Dicho estudio comprendió un área de 51 cuerdas de terreno en la cercanía de la playa Cerro Gordo. El estudio concluyó que el suelo era uno susceptible a inundaciones.

El 15 de abril de 1977, el Hon. Meléndez Cano sometió el borrador de una DIA para el establecimiento del vertedero en 50 cuerdas del Bo. Cibuco. En el borrador sometido por el alcalde se especificó que el tiempo de vida del vertedero era de cinco años, que éste presentaba un riesgo de contaminación al río Cibuco y que el nivel freático en el área sur del predio era de 3 pies o menos de profundidad. Durante el proceso de consideración y estudio de zonas para el desarrollo del vertedero, la Junta de Planificación había exigido que las excavaciones no excedieran los diez pies de profundidad, que protegieran las aguas subterráneas, que establecieran un sistema de control de escorrentías y que muestrearan la calidad de las aguas. Con intención de aligerar el proceso de aprobación del proyecto propuesto, el día 21 de abril de 1977 Meléndez Cano envió notificación de que tenía una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) completa para 20 cuerdas en el Bo. Cibuco. Como reacción a los documentos sometidos por la oficina del alcalde, Nestor Sotelo, jefe de la división de desperdicios sólidos de la JCA, le envió un memorando interno al Sr. Jaime Ortiz, subdirector de la misma división. En su memorando, el Sr. Sotelo exigió que el borrador de la DIA incluyera todas las posibles alternativas para localizar el vertedero y no sólo la de predilección del alcalde. En respuesta, Jaime Ortiz envió un memorando interno recomendando la ubicación del proyecto en el Bo. Cibuco.

De la misma manera el director ejecutivo de la JCA comentó respecto a la DIA sometida. En sus comentarios emitidos en una carta fechada el 22 de agosto de 1977, el director ejecutivo exigió que la misma incluyera un plan contra la contaminación del río Cibuco y las aguas subterráneas.

Mientras se tomaban decisiones respecto a la nueva localización de las instalaciones de disposición final de los desperdicios sólidos de Vega Baja, el 19 de abril de 1978 la JCA envió una orden de cese de operaciones del vertedero en Río Abajo al municipio (JCA, 1978). A partir de esta orden, la JCA llevó a cabo dos inspecciones al aún operacional vertedero municipal. Durante las inspecciones, notaron que estaban vertiendo y quemando de manera abierta los desperdicios sólidos, no contaban con el equipo necesario para operar de acuerdo a la ley, no tenían un sistema de control de escorrentías y observaron tanto vectores como rescatadores de escombros en el lugar. A raíz de dichas inspecciones la Junta de Calidad Ambiental procedió a demandar al municipio (JCA, 1978b). A finales de año, se emitió una notificación y resolución a la demanda. El documento notificó el que no se le dio lugar a la petición del alcalde de que se le proveyera más tiempo para gestionar la relocalización del vertedero y se fijó una multa de \$5,000.00 y \$500.00 por cada mes que continuara en operaciones. El vertedero en el Bo. Río Abajo fue clausurado en 1979 cuando el municipio comenzó a depositar los desperdicios en el vertedero de 21.82 cuerdas establecido en el Bo. Cibuco, al lado oeste de la Finca Cibuco.

El 7 de octubre de 1993, el alcalde de Vega Baja, el Hon. Meléndez Cano, envió una solicitud para continuar operaciones. La solicitud incluyó información de que el vertedero recibe unas 75,000 toneladas de desperdicios sólidos al año y que éste brinda servicio a

unas 150,000 personas en los municipios de Manatí, Morovis y Vega Baja. Además, en la misma se documentó que la vida útil estimada para el vertedero era de ocho a diez años y que se encuentra en una zona inundable. Durante el mismo mes, la oficina del alcalde presentó un Plan de Operaciones que incluía un área para la disposición de animales muertos o desperdicios de mataderos y un área de remoción de terreno para relleno. En el plan se describió el manejo de los desperdicios recalando la acumulación de los mismos en capas de dos pies de ancho y cubiertas de seis a doce pies basándose en 3 a 5 compactaciones. El plan contenía una estipulación de que se dispondría de los animales realengos.

El 19 de marzo de 2002, el Director del Programa de Contaminación de Terrenos de la JCA, Carmelo Vázquez Fernández, le envió al alcalde una carta proveyéndole información sobre las actividades pendientes que conciernen el vertedero. En su carta Vázquez Fernández indicó que el Plan de Operaciones sometido este año era una copia fiel y exacta del plan sometido en 1993 que se le había informado anteriormente que no cumplía con las reglamentaciones. También, exigió que el alcalde sometiera un plan de operaciones actualizado, informes trimestrales de operación, un plan de muestreo de aguas subterráneas, un plan de monitoreo de gases explosivos, un plan de cumplimiento y un estudio hidrogeológico. Junto con los documentos a someter, el Sr. Vázquez exigió la construcción de un sistema de control de escorrentías.

En un memorando interno de la JCA de mayo de 2003, inspectores de dicha agencia informaron los hallazgos de una inspección llevada a cabo el día 12 del mismo mes. En su visita al vertedero los inspectores notaron que no había una verja para controlar el volado de papeles, el área de tiro era muy extensa y no se cubría totalmente,

el vertedero recibía desperdicios inclusive cuando no estaba presente el personal, habían lixiviados expuestos y no había proceso de riesgo para polvo fugitivo ni compactación de los desperdicios. Mientras, Meléndez Cano solicitó al director ejecutivo de ADS, Guillermo Rivera, la expansión al este del vertedero.

La JCA otorgó un permiso de operación de 5 años comenzando en septiembre de 2003 y concluyendo en septiembre de 2008. El permiso incluía ciertas condiciones. La condiciones puestas por la Junta de Gobierno de la JCA indicaron que previo a cualquier cambio físico, alteración o modificación de la operación permitida, el poseedor del permiso tendría que notificar a la JCA. Además, el poseedor del permiso se veía obligado a mantener un programa de muestreo conforme a los requisitos del Reglamento de Desperdicios Sólidos No Peligrosos y a guardar los datos del monitoreo de aguas subterráneas de por vida.

En el 2005 el municipio privatizó las operaciones del vertedero. La empresa contratada para llevar a cabo las operaciones fue AR Waste. La privatización del vertedero no trajo consigo mejoras significativas a las deficiencias identificadas durante inspecciones tanto de la JCA como de la EPA. Por tal razón, la EPA emitió una orden de cierre para el vertedero a mediados del año 2006 en la que enfatizó que a raíz de la operación no apta del vertedero, el mismo representa un riesgo potencial a los recursos de agua potable, agua superficial y a los terrenos aledaños (EPA, 2007c).

En diciembre de 2007 el ingeniero Juan Mercado Torres envió a la JCA un estudio titulado *El impacto del manejo de lixiviados vía recirculación en el vertedero de Vega Baja*. La misión de la recirculación de los lixiviados consistía en que los lixiviados se utilizarían en procesos de asperjar los polvos fugitivos y eventualmente esos lixiviados

pasarían a ser manejados por un sistema que se pondría en funcionamiento para la fecha de cierre del vertedero (Mercado, 2007). Para la fecha el vertedero recibía unas 115,000 a 120,000 toneladas de desperdicios, no tenía una cobertura inicial y contaba con una charca de lixiviados.

En el primer trimestre del año 2008, la oficina del alcalde sometió un plan de cumplimiento. La división de Contaminación de Terrenos de la JCA le presentó sus comentarios a cerca del plan de cumplimiento al Hon. Edgar Santana. En los mismos, la JCA estableció que el vertedero recibiría desperdicios hasta el 31 de diciembre de 2009, su cubierta final tendría que ser de 12 pulgadas de ancho con una pendiente de 3 pies por 1 pie vertical, el sistema de escorrentías tendría que seguir las regulaciones del *National Pollutant Discharge Elimination System* (NPDES) y se tenían que establecer unos 25 pozos para ventilación de gases. Rodríguez también hizo hincapié en que el plan de cumplimiento sometido no incluye el manejo de lixiviados aún después de describir la falta de revestimiento del fondo de la celda activa y la inexistencia de un sistema de extracción de los mismos.

Durante el mes de julio del 2008 AR Waste sometió un Plan Operacional para el vertedero. En el mismo indicó que habían tres pozos de monitoreo de aguas subterráneas y que las mismas serían monitoreadas según indicaciones de la EPA. A su vez, aseguró que el vertedero estaba operando de tal manera que no constituía un riesgo a la salud humana ni a la seguridad pública. Dentro del plan operacional se encontraron especificaciones de control de tráfico interno, equipo de primeros auxilios y rutas de emergencia. Pasada la entrega del plan operacional, Luis Hernández Borres, presidente de

AR Waste, envió una solicitud a la JCA para renovar el permiso de operaciones del vertedero.

El subgerente de la división de Contaminación de Terrenos de la JCA Israel Torres Rivera envió un reporte de inspección al Presidente de AR Waste. La inspección en cuestión se llevó a cabo el 2 de noviembre de 2008. En las misma Torres Rivera Observó lo siguiente:

- La cantidad de basura vertida a la celda estaba siendo estimada por la capacidad del camión. Sólo una cuarta parte del material vegetativo estaba siendo procesado.
- Desconocían las reglas mínimas de seguridad por lo cual permitieron el tiro de dos camiones al mismo tiempo en un área pequeña y al borde de una pendiente.
- Al lado sur- suroeste tenía una pared de basura de mas de 60 pies de largo sin cubrir ni compactar. El Sr. Castro, encargado de seguridad en ese turno, informó que esa basura se utilizaría para estabilizar la pendiente.
- El material de cubierta se obtenía de una cantera cercana al vertedero o de una cantera en Ciales. Por tal razón el material es rocoso y permitía la erosión del terreno dejando las pendientes de basura al descubierto.
- El horario de operación era de lunes a viernes de 6:00 am a 6:00 pm y los sábados de 7:00 am a 3:00 pm.
- No había evidencia de adiestramiento del personal, no había oficina ni archivo.
- Según Cardona, el supervisor del vertedero, los lixiviados a la periferia del vertedero eran recirculados para el control del polvo fugitivo.
- El equipo de seguridad se limitaba a un kit de primeros auxilios y unas gafas de seguridad.

- El vertedero recibía desperdicios de Vega Baja, Vega Alta, Ciales y Dorado a través de las compañías ARB, BFI, Green Waste, LM Waste y AWDI.
- Al camión tumba le ponían un tanque de recolección de lixiviados que usaban para el control de polvo fugitivo.
- No contaba con rotulación interna para seguridad.
- El contrato de seguridad entre el municipio y Torres Security Police es de lunes a viernes de 3:00 pm a 11:00 pm y de 11:00 pm a 7:00 am, los sábados de 3:00pm a 11:00pm y los domingos todo el día.

Debido a las observaciones antes descritas Torres Rivera recomendó que se le hiciera una revisión al Plan de Operaciones ya que el mismo no es representativo de la realidad del vertedero. Además recomendó inspecciones al azar, y exigió que se rotulara el tráfico dentro del vertedero y se estableciera un área de seguridad y descanso para empleados. También, recalcó que la asperjación de lixiviados para controlar el polvo fugitivo no está permitida para áreas que no tienen membranas geosintéticas en el fondo. El inspector concluyó que el Plan Operativo debe reflejar la realidad actual y no un plan futuro. Por tal razón, le otorgó 15 días para presentar un Plan Operacional revisado y evidencia sobre acciones correctivas.

El 13 de mayo de 2009 María Rodríguez, gerente de división de contaminación de terrenos de la JCA, le envió un reporte de inspección del vertedero de Vega Baja a la oficina de permisos de la JCA. Su reporte hizo referencia a una inspección que llevó a cabo el día 5 de mayo del año que transcurre. Como parte de la inspección, Rodríguez entrevistó al supervisor de entrada, Pablo Pérez y al supervisor de la instalación, Alberto Cardona. De la inspección resultaron los siguientes datos relevantes:

- El vertedero sirve de depósito para los municipios de Ciales, Dorado, Manatí, Vega Alta y Vega Baja desde las 6 a.m. a las 6 p.m. y los sábados de 6 am a 12m.
- La instalación no estaba completamente verjada.
- No contaba con rotulación interna, medidas de control de polvo fugitivo, una instalación para la seguridad de los empleados, evidencia alguna de las inspecciones al azar ni con un sistema de control de escorrentías.
- El personal no estaba debidamente adiestrado.
- No contaba con servicio de agua potable ni servicio de energía eléctrica.
- Observó desperdicios descubiertos en el área del talud y del camino de acceso.
- No se estaba llevando a cabo monitoria de lixiviados ni de agua superficial.
- La cantidad de desperdicios depositados era estimada por la capacidad del camión.
- No contaba con equipo de primeros auxilios.
- No contaba con pozos de monitoria de agua subterránea ni había un plan de implantación de pozos de monitoreo.
- No contaba con un sistema de monitoria de gases.
- Observó la presencia de rescatadores en el lugar.
- Los lixiviados estaban siendo canalizados en áreas preparadas por el personal y no contaban con un plan de disposición o manejo de éstos.

Menciona que el 21 de enero de 2009 se le exigió a Luis Hernández que se hicieran correcciones al Plan de Operaciones para poder renovar el permiso. Para la misma fecha la autora del reporte envió una carta al Hon. Edgar Santana informándole de las

observaciones hechas durante la inspección del 5 de mayo y requiere que en 15 días corrija las deficiencias y someta la documentación requerida.

En mayo de 2006, la EPA propuso que el vertedero cerrara debido a que representa un posible riesgo a los recursos de agua potable tanto subterránea como superficial, además de un riesgo a los recursos marinos. El municipio firmó un acuerdo para discontinuar el recibido de desperdicios a finales del 2009 y llevar a cabo la clausura en la primavera del 2010 (EPA, 2007c).

Caracterización de los PAHs

Los PAHs se encuentran en el ambiente de manera natural y también pueden ser creados como consecuencia de actividades humanas. Los mismos pueden ser adquiridos de manera natural mediante ingestión de alimentos que los contengan. De manera artificial, los PAHs se forman mediante la quema de carbón, madera, gasolina, petróleo, tabaco, basura y otras materias orgánicas (Woodward & Snedeker, 2001).

Algunos PAHs están listados como parte de la lista de químicos de prioridad de la EPA. Los PAHs son persistentes, no se eliminan fácilmente y por tal razón se quedan en el ambiente por largos periodos de tiempo. La mayoría de estos no se degrada en agua debido a la estabilidad que le brinda su composición de anillos de benceno (EPA 2008). Los PAHs tienen una solubilidad muy baja en agua y a mayor tamaño molecular del PAH menor su solubilidad en agua, este factor contribuye a la persistencia de los mismos en los cuerpos de agua (Karami, Eghtesadi, Negarestan, Ranaei & Maghsoudlou, 2008).

Existen más de 100 compuestos identificados como PAHs y debido a sus características, la Agencia para el Registro de Enfermedades por Sustancias Tóxicas

(ASTDR, por sus siglas en inglés) ha formado un grupo que contiene los siguientes PAHs: antraceno, benz[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[k]fluoranteno y criseno, entre otros. Los criterios utilizados para agrupar éstos compuestos son que la posibilidad a que nos exponamos a ellos es mayor que a cualquier otro PAH, que son los que se sospechan que tienen mayor efecto adverso a la salud y que han sido encontrados con mas frecuencia en la lista de desperdicios peligrosos de prioridad nacional (ASTDR, 1995).

Acenafteno

El acenafteno es un hidrocarburo compuesto de dos anillos de benceno. Su formula molecular es $C_{10}H_6(CH_2)_2$ y su punto de ebullición es de $277.5^{\circ} C$. El acenafteno es parcialmente soluble en metanol pero insoluble en agua. La exposición al antraceno puede ser por contacto con la piel, ingestión o inhalación. Como resultado de la inhalación a este compuesto, el individuo expuesto al mismo puede sufrir de irritación de las membranas mucosas y del sistema respiratorio superior. Durante el proceso de biodegradación, este compuesto puede formar productos de mayor efecto adverso a la salud (Science Lab, 2008).

Acenaftileno

El acenaftileno tiene apariencia de polvo cristalino amarilloso. Su fórmula molecular es $C_{12}H_8$. Este compuesto contiene 3 anillos aromáticos y se forma de la dehidrogenación catalítica del acenafteno. El punto de ebullición de acenaftileno es de $280^{\circ} C$. Dicho compuesto es muy estable. El acenaftileno es incompatible con agentes oxidantes, como

la mayoría de los PAHs. Contacto con el mismo puede resultar en la irritación a la piel, los ojos y el tracto respiratorio. Estudios sugieren que este compuesto puede ser absorbido por el tracto gastrointestinal, los pulmones y la piel (PTCL, 2003a). Estudios en ratas han comprobado que la exposición a este compuesto afecta los riñones, el hígado, el sistema reproductivo y los pulmones. El acenaftileno es considerado como un contaminante ambiental ya que ha sido detectado en suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales en lugares de disposición de desperdicios peligrosos (AONV, 2007).

Antraceno

El antraceno tiene una fórmula molecular de $C_{14}H_{10}$. El mismo tiene una apariencia cristalina que va de blanco a verde pálido. Su punto de ebullición es de $340^{\circ}C$. Es un compuesto estable que puede reaccionar con agentes oxidantes fuertes. El antraceno es inflamable y puede causar daños a la salud. Uno de los efectos adversos que puede causar la exposición a este compuesto es la irritación de los ojos, la garganta, la nariz o los pulmones. El antraceno es un posible promotor de tumores. El límite de exposición para este PAH es de $0.2\text{mg}/\text{m}^3$. Este hidrocarburo puede causar efectos adversos al ambiente acuático (PTCL, 2006).

Benz[a]antraceno

La fórmula de Benz[a]antraceno es $C_{18}H_{12}$. El benz[a] antraceno tiene apariencia de polvo cristalino y su color puede variar de *beige* a amarillo verdoso. El mismo puede causar irritación de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. El punto de ebullición del benz[a]antraceno es de $437.6^{\circ}C$. Debido a estudios realizados en ratones, se determinó

que este PAH es un potencial cancerígeno. De ser ingerido, el benz[a] antraceno causa daño a los riñones. Al igual que el antraceno, este compuesto no es compatible con agentes oxidantes (Fisher Scientific, 2007).

Benzo[a]pireno

El benzo[a]pireno es uno de los hidrocarburos más estudiados. Tiene 4 anillos de benceno y su fórmula molecular se compone de veinte átomos de carbono y doce de hidrógeno. Este compuesto tiene una apariencia de polvo cristalino de color amarillento. El mismo se puede encontrar en el humo del cigarrillo o en las emisiones de los automóviles. El benzo[a]pireno tiene un punto de ebullición de 495° C y es poco soluble en agua. Dicho compuesto ha sido clasificado venenoso ya que está bajo experimentación como cancerígeno, mutagénico y teratogénico. Su capacidad como mutagénico ha sido comprobada en humanos. Por sus características, los investigadores sospechan que causa cáncer en la vejiga, la piel y el pulmón. Otros de los efectos que podría causar la exposición al benzo[a]pireno son: daños al sistema reproductivo y cambio al color y las propiedades de la piel. El benzo[a]pireno es considerado nocivo para el ambiente y debido a su persistencia, éste puede causar daños a largo plazo (PTCL, 2006).

El benzo[a]pireno es uno de los PAHs que se encuentra con mayor frecuencia en el ambiente. El fumar tabaco es la manera más común de exposición a este compuesto. El inhalar aire contaminado y la ingestión de comida o agua contaminada con efluentes de combustión son otras dos fuentes de exposición al benzo[a]pireno. Como consecuencia a la exposición a este compuesto, la apoptosis celular es inducida. El Benzo[a]pireno puede originar lesión genética o alteraciones en la reproducción (Sharma, 2008).

Benzo[e]pireno

La fórmula de benzo[e]pireno $C_{20}H_{12}$. El mismo tiene apariencia de cristales duros de color amarillo. A través del contacto, inhalación o ingestión de este hidrocarburo pueden ocurrir efectos adversos a la piel y los pulmones. El benzo[e]pireno es considerado como posible mutagénico y cancerígeno. La razón por la cual se ha determinado como cancerígeno es que estudios con ratones han resultado en la formación de tumores gastrointestinales y en la piel. En otros estudios con ratones, se ha podido determinar que éste también funciona como teratogénico. En humanos el benzo[e]pireno es un mutagénico de linfocitos. Sus productos de descomposición también resultan peligrosos ya que estos son el monóxido y el bióxido de carbono. La manera apropiada de disponer de este hidrocarburo es disolviéndolo o mezclándolo con un solvente de combustible y luego quemándolo en un incinerador químico (Sigma-Aldrich, 2004).

Benzo[b]fluoranteno

El benzo[f] fluoranteno es un polvo que puede variar en color de blanco opaco a marrón claro. Su fórmula molecular es $C_{20}H_{12}$. El punto de ebullición para este compuesto es de $165^{\circ} C$, El benzo[f]fluoranteno está clasificado como un posible cancerígeno humano. La razón por la cual éste se considera un posible cancerígeno se debe a que ha sido estudiado en ratones y los resultados apuntan a la formación de tumores en una relación de dosis-respuesta (EPA, 2008b). El benzo[f]fluoranteno puede causar irritación a la piel. En ambientes acuáticos, el benzo[b] fluoranteno puede causar efectos adversos a largo plazo y es tóxico para los organismos (PTCL, 2003b). La ruta de exposición a este compuesto es por inhalación o por contacto con la piel. Este compuesto

es insoluble en agua (INCHEM, 2005). El benzo[f]fluoranteno es un contaminante ambiental. En la cadena alimenticia, el mismo tiende a bioacumularse, sobretodo en los aceites y tejidos grasos (IPCS, 1993).

Benzo(g,h,i)perileno

El benzo(g,h,i)perileno es un sólido cristalino incoloro. El mismo se usa para hacer tintes, plásticos, pesticidas, explosivos y medicamentos. Su punto de ebullición es a 500° C. Está compuesto de 22 carbonos y 12 hidrógenos arreglados en 6 ciclos de benceno. Los ciclos aromáticos de este hidrocarburo le brindan estabilidad a la molécula. La exposición principal a este hidrocarburo surge de la inhalación de aire contaminado. En específico, este PAH se encuentra en lugares de disposición final de desperdicios sólidos peligrosos, junto a otros hidrocarburos (EPA, 2008c). Otras rutas de exposición a este compuesto son la ingestión de alimentos o agua contaminada y el contacto dermal. El Benzo(g,h,i)perileno puede causar irritación a la piel, los ojos y el tracto respiratorio. En humanos, la exposición crónica a dicho hidrocarburo puede resultar en la mutagénesis de los linfocitos. A su vez, en ratones, la exposición crónica al Benzo(g,h,i)perileno puede resultar en la reversión de la histidina y por consiguiente, en daños al DNA (Sigma-Aldrich, 2003)

Benzo[j]fluoranteno

El Benzo[j]fluoranteno es un PAH cuya fórmula molecular es $C_{20}H_{12}$. Éste es uno de los componentes del crudo de petróleo y un producto que se libera al ambiente durante fuegos naturales. El Benzo(j)fluoranthene no se produce de manera comercial pero se

encuentra en emisiones industriales, facilidades de tratamiento de aguas sucias e incineradores de desperdicios, lo cual lo hace propenso a entrar en el ambiente. El Benzo(j)fluoranthene cuenta con 5 anillos aromáticos. Por tal razón, su biodegradación es lenta. En sistemas acuáticos, el Benzo(j)fluoranteno se encuentra en los sedimentos o en partículas suspendidas en el agua. Éste tiende a bioconcentrarse en los cuerpos de agua ya que su volatilidad en dicho ambiente es baja. Las fuentes de exposición al Benzo(j)fluoranteno son el fumar cigarrillos, el ingerir alimentos al carbón o ahumados, el tomar agua potable contaminada y el llevar a cabo actividades recreativas en cuerpos de agua contaminados (Spectrum, 2008b).

Benzo[k]fluoranteno

El benzo[k]fluoranteno es formado por 4 anillos de benceno y su fórmula molecular es $C_{20}H_{12}$. Su composición es cristalina de color amarillo. Llega a su punto de ebullición a los 480°C . Este hidrocarburo es muy estable y de naturaleza combustible. El benzo[k]fluoranteno es un cancerígeno anticipado. El mismo representa un daño al ambiente ya que se bioacumula en peces y crustáceos (PTCL, 2005a). El benzo[k]fluoranteno ha sido detectado en aguas subterráneas en Alemania y en los Países Bajos (Spectrum Laboratories, 2008).

Criseno

El criseno es un hidrocarburo de fórmula molecular $C_{18}H_{12}$. La apariencia de este compuesto es de un polvo cristalino incoloro. El mismo tiene un punto de ebullición de 448°C y es insoluble en agua. El criseno es identificado como combustible. Se llevaron a

cabo estudios con ratones mediante los cuales se determinó la cancerígenocidad del mismo. Para humanos, éste se considera como un cancerígeno posible. Si este compuesto fuese ingerido, inhalado o entrado en contacto con la piel causaría efectos adversos a la salud (PTCL, 2005b).

Dibenzo[a,h]antraceno

El dibenzo[a,h]antraceno es un hidrocarburo de 5 anillos aromáticos formados por 22 carbonos y 14 hidrógenos. El mismo es un sólido cristalino transparente. El punto de ebullición de este hidrocarburo es de 266° C. Se adhiere al particulado, suelo y sedimentos. Ha sido encontrado a grandes distancias del punto de emisión, por lo cual se considera un compuesto estable. Es posible que este PAH se biodegrade en agua mediante fotólisis directa ya que absorbe radiación solar. La exposición a este compuesto es a través de inhalación de aire contaminado o ingestión de alimentos o agua contaminada (Spectrum, 2008f).

La exposición crónica a dibenzo[a,h]antraceno puede causar cáncer. Es un posible teratogénico y puede causar daños adversos a la piel y los ojos. Este PAH es un cancerígeno confirmado por la Administración de Seguridad y Salud (OSHA, por sus siglas en inglés). El mismo se absorbe a través de la piel. Los órganos afectados por la exposición a este hidrocarburo son el corazón y el sistema nervioso central. Los efectos adversos a la salud que resultan de la exposición al dibenxo[a,h]antraceno son: mare, dolor de cabeza, pérdida de la conciencia y muerte. Los síntomas de exposición son: edema pulmonar, conjuntivitis, convulsiones, soñolencia, respiración irregular, nauseas, vómito, debilidad y sobreproducción de enzimas hepáticas (Sigma-Aldrich, 2002).

Fluoranteno

El fluoranteno está compuesto por 4 anillos aromáticos en los cuales se distribuyen 16 carbonos y 10 hidrógenos. Su apariencia es de agujas de color amarillo pálido. EL punto de ebullición del fluoranteno es de 375° C. El mismo se usa como componente de asfalto derivado del petróleo para ser utilizado como material de cubierta para proteger el interior de tuberías de agua potable y tanques de almacenamiento. El fluoranteno es un contaminante ambiental comúnmente liberado al aire y el agua ya que es un producto de combustión de materia orgánica y es parte de productos de combustible fósil. Una vez en el agua, el fluoranteno se asocia con el sedimento o el particulado en la columna de agua. El mismo se bioacumula en organismos acuáticos. Si no se une al particulado, este hidrocarburo puede ser degradado por fotólisis. En el agua potable el fluoranteno puede ser removido por filtración o tratamientos de carbón activado o cloro. Sin embargo, si las tuberías están recubiertas con asfalto, éstas podrían ser fuentes de contaminación del agua potable (Spectrum, 2008h). La exposición a fluoranteno puede causar irritación de la piel y los ojos. En estudios realizados con ratas y ratones, el fluoranteno exhibió capacidades de inducir formación y crecimiento de tumores en la piel y el hígado. En humanos, éste provocó mutación de los linfocitos (Sigma- Aldrich, 2007).

Fluoreno

El fluoreno es un hidrocarburo de 3 ciclos cuya fórmula molecular es $C_{13}H_{10}$. El mismo se usa para formar resinas, tintes y herbicidas. Su apariencia es de placas blancas cristalinas. Tiene un punto de ebullición de 259° C. El fluoreno se encuentra mayormente en su fase de vapor. Si éste se encuentra en particulado del aire, se puede remover

mediante deposición mojada o seca. El fluoreno puede ser degradado por microbios en ambientes aeróbicos. En el suelo, este PAH, se encuentra en los sedimentos y tiene una media de vida de 2 a 64 días (Spectrum, 2008c). Dicho PAH se percola muy fácilmente a las aguas subterráneas, lo cual puede resultar en la contaminación de fuentes de agua potable. En el ambiente acuático, el fluoreno es muy tóxico para los peces. La exposición aguda a este hidrocarburo puede provocar irritación de los ojos, las membranas mucosas y la piel. El fluoreno no está listado como posible cancerígeno y se desconoce el potencial del mismo a serlo (Alfa Aesar, 2008).

Indeno[1,2,3-c,d]pireno

El Indeno[1,2,3-c,d]pireno es un PAH que varía en colores de amarillo a amarillo verdoso. El mismo tiene una fórmula molecular de $C_{22}H_{12}$. Su punto de ebullición es a $530^{\circ} C$ y es poco soluble en agua. Este hidrocarburo no sólo se encuentra en los productos de combustión de materia orgánica sino que también puede ser encontrado en gasolina, aceite de motor nuevo o usado y en escorrentías provenientes de las carreteras. Tanto en el suelo como en el agua, el indeno[1,2,3-c,d]pireno se absorbe rápidamente y se asocia al particulado. A diferencia de la mayoría de los PAHs, el Indeno[1,2,3-c,d]pireno no se bioacumula en peces ya que éstos contienen oxidasa microsomal, lo cual permite que los PAHs sean metabolizados (Spectrum, 2008d). El Indeno[1,2,3-c,d]pireno puede entrar al cuerpo humano por inhalación, ingestión o contacto de la piel. Está clasificado como posible cancerígeno (AccuStandard, 2005).

Fenantreno

El fenantreno es un sólido cristalino transparente con un olor aromático tenue. El mismo está compuesto de 14 carbonos y 10 hidrógenos y su punto de ebullición es de 340° C. En el suelo, es muy probable que el fenantreno se biodegrade sin percolar a las aguas subterráneas. Así como los demás hidrocarburos, en agua y aire, el fenantreno se asocia al particulado. En el aire, dicho compuesto es fotolisado rápidamente con una vida media de 49 horas (Spectrum, 2008e). La exposición a este compuesto puede causar fotosensibilidad de la piel. Este padecimiento puede ser agravado por exposición a luz solar, la cual puede causar lesiones en la piel que pueden ser desde quemaduras hasta ampollas. De estudios realizados en ratones expuestos a fenantreno se desprende que este PAH promueve la formación de tumores, causa daños al ADN y malformaciones a embriones (Sigma-Aldrich, 2006a).

Pireno

El pireno es un sólido cristalino incoloro que es poco soluble en agua. El mismo está compuesto por 4 anillos de benceno los cuales son formados por 16 carbonos y 10 hidrógenos. El punto de ebullición de pireno es a 393° C. Dicho PAH tiene la capacidad de adherirse al particulado y de esta manera ser transportado largas distancias desde su fuente. El adherirse al particulado baja significativamente su ritmo de degradación por fotólisis. En el suelo forma asociaciones fuertes, por lo cual no es viable que percole a las aguas subterráneas. Sin embargo, durante estudios de aguas subterráneas se ha encontrado la presencia del mismo. La exposición a este hidrocarburo es mayormente por fumar cigarrillos o consumir alimentos contaminados (Spectrum, 2008g). El pireno es

absorbido a través de la piel y ocasiona efectos adversos a la sangre y los riñones. En humanos se ha comprobado su capacidad mutagénica y en animales es un promotor de tumores, por lo cual éste es un posible cancerígeno (Sigma-Aldrich, 2006b).

Cancerígenocidad de los PAHs

La cancerígenocidad de los PAHs ha sido documentada por varios autores por lo cual es inminente detectar la presencia de los mismos. (García, Sánchez, Leyton & Campos, 2007). Una vez los PAHs entran en el cuerpo humano tienden a ir a los tejidos grasos y sus órganos “blanco” son el hígado y los riñones. La activación metabólica de los PAHs genera electrófilos que pueden reaccionar con los sitios nucleófilicos de las bases nitrogenadas de ADN para formar aductos. (Laali & Tanaka, 1998). La detección de PAHs en el cuerpo se hace a través de muestreo y análisis de orina. El mismo comprueba exposición, pero no los daños causados por la misma (ASTDR, 1996).

Debido a los resultados de estudios realizados mediante la exposición de animales a PAHs, se entiende que el respirarlos o entrar en contacto a través de la piel, es causante de cáncer en los humanos (EPA, 2008). Los PAH son componentes resultantes de la quema de tabaco y por ende pueden ser inhalados por los fumadores de éste. Ha sido comprobado que dicha práctica puede resultar en padecimiento de cáncer del pulmón (Perera et al., 2007).

Según el informe de la calidad de agua potable de PR para el 2006, la AAA determinó la presencia de unos 3,359 compuestos orgánicos en el muestreo de agua potable realizado, pero no especifica o describe los mismos. Existe la posibilidad de que parte de estos compuestos orgánicos sean PAHs. Es más efectivo y económico prevenir la

contaminación de los abastos de agua potable que pagar por el tratamiento o limpieza de los mismos (AAA, 2006).

Manejo de los desperdicios sólidos no peligrosos

Dentro del relleno sanitario no se puede distinguir entre las aguas, los procesos bioquímicos y los procesos de lixiviación; éstos se encuentran mezclados. Por lo tanto, el volumen del agua y la percolación de la misma influye directamente en los procesos bioquímicos y en la producción de lixiviados y de la misma manera los lixiviados influyen en el agua, creando así una relación entre todos los componentes de la mezcla (Ehrig, 1992). Existen muchas maneras en que se pueden introducir químicos orgánicos e inorgánicos a aguas subterráneas, entre ellas la percolación de lixiviados de material orgánico a través del perfil del suelo. (AL-Oud, 1997).

El manejo indebido de los desperdicios sólidos permite que a éstos SRS llegue material orgánico. La descomposición de materia orgánica tiene como consecuencia la liberación de gas metano. El gas metano que se libera en los rellenos sanitarios se denomina como gas de vertedero. El gas de vertedero es compuesto por 40 a 60% de metano y el resto del gas puede ser compuesto por oxígeno, nitrógeno y/o cualquier otro gas presente en el vertedero. El gas metano es altamente inflamable (Crabtree, 1995), por tal razón, la acumulación de metano en el interior del vertedero puede causar fuegos ocasionales en la parte activa del relleno sanitario, lo cual puede ser el precursor de la formación de PAHs.

Estudio de casos

Lixiviados de los vertederos municipales de Malasia

Malasia es un país que sufre de problemas de generación desmedida de desperdicios sólidos. Para el año 2000, se recolectaron y enviaron a vertederos municipales unos 7.9 millones de kilogramos de desperdicios de la zona de Kuala Lumpur. Se espera que ese número aumente a unos 11 millones de kilogramos al día para el año 2010. La mayoría de estos desperdicios se disponen en vertederos municipales. Malasia cuenta con 230 vertederos. Todos los vertederos del país contienen desperdicios expuestos y carecen de la tecnología para evitar la contaminación que esto representa. Con la intención de demostrar el riesgo que esta práctica representa para la población de Malasia, Zakaria, Hiaw, Yoon y Hayet tomaron muestras de lixiviados, aguas subterráneas y aguas superficiales proximales a dos vertederos del país. Las muestras fueron analizadas para la detección de PAHs mediante el método de cromatografía de gas y espectrometría de masa. Los resultados del estudio demarcaron una alta concentración de hidrocarburos aromáticos tanto en los lixiviados como en aguas subterráneas y superficiales. El resultado de mayor importancia para los investigadores fue que la concentración de PAHs en las aguas subterráneas sobrepasó la de los lixiviados y aguas superficiales. En Malasia, el agua potable que abastece al país provienen en su mayoría de pozos de extracción de agua subterránea. De este estudio se desprende que los lixiviados pueden ser transportados directamente a los cuerpos de agua adyacentes y que los hidrocarburos pueden acumularse en las aguas subterráneas mas fácilmente que en las aguas superficiales (Zakaria, Hiaw, Yoon & Hayet, 2005).

Contaminación de Aguas Subterráneas en Arabia Saudita

El tópico de la protección de aguas subterráneas es prioridad para Arabia Saudita ya que la población ha tomado conciencia de la utilización que se da a las mismas como fuente de abastecimiento de agua potable. A este factor contribuye un aumento en educación sobre los efectos adversos del consumo de agua contaminada. En el estudio realizado en Arabia Saudita Al-Oud (1997), tomó 25 muestras de distintos pozos subterráneos enfatizando la toma de muestras en lugares donde pudiesen haber percolado lixiviados de vertederos municipales, productos de pesticidas agrícolas y productos de aceite de derrames de tanques soterrados. Basándose en que los PAHs son componentes principales de aceites de petróleo, algunos pesticidas y lixiviados de desperdicios sólidos expuestos, el investigador decidió asignarlos como representativos de los compuestos orgánicos en la contaminación de las aguas subterráneas. El estudio resultó en la presencia de PAHs en todos los pozos muestreados incluyendo los adyacentes a vertederos abiertos. Se llegó a la conclusión que el manejo indebido tanto de los vertederos como de los sistemas de riego de pesticidas y los tanques soterrados resultó en la contaminación de las aguas subterráneas de la zona. Estos datos llevaron al investigador a relacionar la distancia de éstos lugares de disposición con respecto a los cuerpos de agua subterránea. De dicha relación, el investigador declaró como viable la posibilidad de que éstos representaran una contaminación directa del agua potable de consumo diario.

Marco legal

Código de Reglamentos Federales Número 40

El Código de Reglamentos Federales 40 (40 CFR, por sus siglas en inglés) se denomina como el Reglamento de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América. Dicho reglamento contiene disposiciones de protección del agua, aire y suelo. El mismo se divide en secciones. La sección 258 del 40 CFR se refiere a los criterios de los vertederos municipales para la disposición de desperdicios sólidos. La misma requiere el monitoreo de las aguas subterráneas en la localidad del vertedero municipal y describe las maneras de muestreo. Bajo esta sección se describe la capacidad de los lixiviados de los vertederos municipales a contaminar los cuerpos de aguas subterráneos y la importancia de prevenirla.

Ley Federal de Agua Potable Segura

En 1974 se aprobó la Ley Federal de Agua Potable Segura (SDWA, por sus siglas en inglés). Esta ley tiene como propósito proteger la salud pública mediante la regulación de los abastecimientos de agua potable y el control de la contaminación de los mismos. Esta ley se establece bajo la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés).

La SWDA expone límites permisibles de contaminantes en las aguas de consumo poblacional. De haber un contaminante que sobrepase el límite que es permitido por la regulación de SWDA, se requiere que se le informe al público. En cumplimiento con esta ley y adaptando sus estipulaciones, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) rinde informes anuales de la calidad de agua. Los informes de la AAA son documentos de acceso público y contienen información de los contaminantes orgánicos e inorgánicos

presentes en el agua potable que se distribuye. La calidad del agua potable de los pozos de la AAA sirve como determinante principal de que el pozo continúe en uso o se cierre. Esta ley denomina el nivel permisible de benzo[*a*]pireno, un PAH potente y común, como 0.0002 mg/L.

Ley Federal de Agua Limpia

La ley Federal de Agua Limpia (CWA, por sus siglas en inglés) da origen a las regulaciones establecidas a nivel estatal para el control de la contaminación de las aguas en la Isla. La misma se estableció en 1972 para la prevenir la contaminación del agua en general. Dicha ley restringe el derrame de sustancias toxicas en los cuerpos de agua y, de tal manera, los mantiene seguros para la práctica de actividades de recreación y deporte.

Ley de Política Pública Ambiental

Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004 para reemplazar la Ley de Política Pública Ambiental del Estado Libre Asociado de Puerto Rico de junio de 1970. Esta ley tiene como propósito el promover la protección del ambiente en todos sus aspectos, incluyendo la consideración de los aspectos ambientales en los esfuerzos gubernamentales para cumplir con las necesidades de la población tanto a nivel social como económico. Dentro de esta legislación se incluyen estipulaciones para el manejo, transportación y disposición de desperdicios sólidos (Art. 9(B)(4). Bajo dicho artículo se propone el “Adoptar, promulgar, enmendar y derogar reglas y reglamentos para la disposición de desperdicios sólidos y para fijar los sitios y métodos para la disposición de estos desperdicios”.

La Ley 416 incluye los siguientes artículos relacionados a este estudio:

- Artículo 14.- Administración del Fondo Rotatorio para el Control de la Contaminación del Agua.
- Artículo 15.-Administración del Fondo Rotatorio Estatal de Agua Potable de Puerto Rico. Dicho artículo estipula la autorización que bajo su disposición otorga a la Junta de Calidad Ambiental a participar y asistir al Departamento de Salud en la administración del Fondo Rotatorio Estatal de Agua Potable de Puerto Rico creado en virtud de la Ley Núm. 44 de 21 de junio de 1988, según enmendada, y según lo requiere el Título de la Ley Federal de Agua Potable (*Safe Drinking Water Act*).

En las estipulaciones de la Ley de Política Pública, la Junta de Calidad Ambiental aparece como responsable de establecer multas y crear fondos para fomentar la protección de los recursos naturales y el ambiente en general. Como parte de la Ley de Política Pública ambiental se nombra el Plan Nacional de Contingencia, el cual se refiere al Código de Reglamentos Federales número 40, sección 300 en donde se encuentran las estipulaciones de la Ley de Control de Contaminación de Agua, específicamente de productos de petróleo en donde se incluyen las sustancias incluidas en el mismo como lo son los PAHs.

El título VI de la Ley número 416 se creó para describir y enforzar el Programa de Prevención de la Contaminación. El mismo establece la política pública sobre la prevención de la contaminación (artículo 52). El artículo número 52 dictamina que la contaminación ambiental debe de prevenirse y reducirse y en caso de que la prevención no sea una opción, los contaminantes deben ser reusados o reciclados evitando así que

sean dañinos. Dichas medidas tienen como propósito evitar los efectos adversos a la salud que pueden surgir como consecuencia de la contaminación, proteger los recursos naturales y a nivel poblacional evitar los altos costos de los procesos de remediación y/o limpieza de contaminantes.

Ley para la Protección y Conservación de la Fisiografía Cársica de Puerto Rico

Ley 292 del 21 de agosto de 1999 para proteger, conservar y prohibir la destrucción de la fisiografía cársica, sus formaciones y materiales naturales, tales como flora, fauna, suelos, rocas y minerales; evitar la transportación y venta de materiales naturales sin el correspondiente permiso; facultar al Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales para que adopte la reglamentación necesaria para la implantación de esta Ley y para imponer penalidades, con el propósito de proteger uno de nuestros más valiosos recursos naturales.

Entre las prohibiciones que conlleva dicha ley, se castiga so pena de hasta seis meses de cárcel o hasta 500 dólares las siguientes acciones:

- Extracción, excavación y remoción de roca caliza con propósitos comerciales o de nivelación de terrenos sin una autorización del Secretario del Departamento de Recursos Naturales.
- Creación de vertederos de desperdicios domésticos, desperdicios peligrosos o desperdicios especiales o industriales no peligrosos en la zona cársica.
- Construcción de caminos, carreteras, u otras vías de acceso sin la autorización del Secretario bajo las disposiciones de esta Ley.
- Fragmentación de ecosistemas de valor natural.

A su vez, la Ley 292 estipula que la persona responsable de hacer llevar a cabo la misma o de imponer multas al incumplimiento de ésta es el Secretario del Departamento de Recursos Naturales Ambientales.

Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos No Peligrosos

La Junta de Calidad Ambiental (JCA) creó este reglamento bajo las responsabilidades asignadas por la Ley de Política Pública Ambiental. El mismo tiene como propósito establecer regulaciones sobre los procesos de los desperdicios sólidos no peligrosos desde la generación hasta la disposición final de los mismos. El mismo toma vigencia en diciembre de 1997 y afecta a todos los generadores y sistemas de rellenos sanitarios que se encuentren bajo operación después de octubre de 1993. Incluidas en este reglamento están las medidas a tomar para el manejo de todos los desperdicios sólidos no peligrosos incluyendo los especiales que sean generados o transportados dentro de la Isla.

El reglamento para el manejo de desperdicios sólidos no peligrosos establece que un sistema de relleno no debe incluir la disposición de líquidos a menos que éstos surjan de escorrentías de lluvia o lixiviados que pasarán a ser tratados y por lo tanto dejarían de ser nocivos a la salud y el ambiente. Respecto a los lixiviados, el reglamento establece y exige que los mismos se monitoreen al igual que las aguas subterráneas que podrían ser afectadas por los mismos. El dueño u operador de la instalación de disposición es el responsable del monitoreo antes mencionado y los mismos deben cumplir con los requerimientos de la JCA para muestreo y análisis de las sustancias. Con este fin, el Reglamento expone límites permisibles de ciertos contaminantes que, de ser excedidos, requieren tratamiento adicional inmediato. El tratamiento de los mismos evita la

contaminación del suelo y las aguas superficiales o subterráneas en el lugar de la instalación y sus alrededores. Los límites de contaminantes establecidos no incluye a los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs).

Las aguas subterráneas tienen que ser monitoreadas, según dictamina el Reglamento, ya que las mismas pueden ser contaminadas por las escorrentías de agua o lixiviado en las instalaciones de disposición final de los desperdicios. Se especifica que en el predio de la instalación deben existir pozos de monitoreo que hayan sido aprobados y especificados por la JCA y que vayan acorde con lo establecido en el diseño de la facilidad aprobado por la agencia. Además, los sistemas de relleno sanitario (SRS) deben contar con un sistema de control de escorrentías, el cual prevenga que entre agua a la porción activa del SRS y un sistema de control de lixiviados. El reglamento prohíbe el estancamiento, tanto de agua como de lixiviados, en el SRS. El cumplimiento del Reglamento incluye llevar a cabo muestreos de lixiviados para monitorear la composición química de los mismo. Los análisis de las muestras de agua y lixiviados deben ser llevados a cabo por un laboratorio certificado para analizar dichas sustancias acorde con las regulaciones legales que le aplican.

El incumplimiento con este reglamento y/o las leyes que lo generan puede resultar en multas, asignación de procedimientos de remediación o limpieza. El reglamento expone los criterios a evaluarse para mantener el SRS en funcionamiento y los criterios por los cuales la instalación puede ser designada a cierre.

Reglamento para la Prevención de Contaminación

Este reglamento se establece bajo la ADS y en cumplimiento con la Ley de Política Pública Ambiental. El propósito del reglamento es crear un Programa de Prevención de Contaminación e imponerlo. Tiene como meta el prevenir y reducir la contaminación desde su generación. Bajo las estipulaciones de este reglamento la ADS es responsable de educar a la comunidad para cumplir con la meta del mismo. El reglamento le confiere a la ADS la capacidad de evaluar las instalaciones que puedan ser fuentes de contaminación para luego determinar técnicas de control o remediación a emplearse. Ninguna de las estipulaciones de este reglamento incluye los procesos después de la generación; el transporte, manejo o tratamiento de los contaminantes.

Proyecto de Ley # 672 de La Cámara de Representantes de los Estados Unidos de América

Dicho proyecto de ley fue avalado por la Cámara de Representantes a petición del entonces Comisionado residente en Washington, el Sr. Luis Fortuño. Dicho proyecto de ley tiene como propósito el proteger los acuíferos y cuencas hidrográficas que sirven como recurso principal de agua para Puerto Rico, y el proteger los bosques tropicales de la Región Cársica del territorio estadounidense.

Este proyecto de ley establece que en la Zona Cársica existen algunas de las regiones de bosque tropical más grandes de la Isla, y formaciones geológicas únicas que mantienen a los acuíferos y cuencas para abastecimiento principal de agua. También, el proyecto #672 hace constar que existe una amenaza directa a dichos recursos dado por un

desarrollo desmedido, y hace hincapié en la realidad de la densidad poblacional de ésta región de la Isla.

En su proyecto de ley, el Sr. Fortuño menciona el que en esta zona habitan un sinnúmero de especies de las cuales algunas se encuentran listadas en peligro de extinción y que la biodiversidad de la zona la hace escenario adecuado para llevar a cabo investigaciones de manejo de bosques tropicales.

El interés principal de dicho proyecto de ley es el conservar la Zona Cársica de Puerto Rico y adquirir las propiedades privadas con el mismo propósito utilizando un Fondo para la Conservación del Carso. Este fondo debe ser creado bajo donaciones y se especifica que dichas donaciones pueden ser aceptadas por el Secretario de Agricultura aunque el contribuidor lleve a cabo negociaciones o sea regulado por el Departamento de Agricultura. Dicha premisa contradice la ley 292 la cual estipula que el funcionario asignado para hacer constar la protección del Carso es el Secretario del Departamento de Recursos Naturales Ambientales.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

Evalué la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los lixiviados del Sistema de Relleno Sanitario (SRS) del Municipio de Vega Baja para determinar el riesgo potencial de exposición de las comunidades cercanas al ingerir agua potable adquirida de las aguas subterráneas en la zona. Analicé de manera espacial la relación del relleno sanitario con los pozos de abastecimiento de agua potable de la Autoridad Acueductos y Alcantarillados.

Área de estudio

El SRS del Municipio de Vega Baja está localizado en la Carretera PR-688, en el Barrio Cibuco, en las coordenadas 18, 28.40 Norte; 66,21.32 Oeste (Figura 1). El SRS cuenta con aproximadamente 30 cuerdas de terreno e incluye una oficina y vías de acceso. La zona de estudio se caracteriza por ser parte de la Zona Cárstica del Norte (Figura 2). La Zona Cárstica del Norte cuenta con sumideros y acuíferos esenciales para la corriente de aguas subterráneas. El área de la Zona Cárstica del Norte que comprende el área de acuífero Vega Baja – Toa Baja se extiende a través de un segmento de 9 millas de ancho en la costa norte (USGS, 2001).

Geología del área de estudio

El SRS de Vega Baja está localizado en la planicie aluvial al norte de la Zona Cárstica del Norte. El acuífero de la costa norte fluye a través de formaciones de caliza de Aguada y Aymamón (Figura 3). Las mismas fueron descritas por Cherry (2001) por medio de un diagrama simulando una vista transversal de la hidrogeología del cuadrante Manati-Vega Baja (Figura 4).

Periodo del estudio

Llevamos a cabo el estudio en un periodo de dos semanas. Colectamos nueve muestras en total. Tomamos tres de las muestras en 24 de agosto de 2009, una por punto de muestreo, en envases color ámbar de un litro de volumen cada uno. Llevamos una segunda toma de muestras el día 31 de agosto de 2009. A petición de Pace Analytical para dichas muestras se tomaron 2 frascos de un litro por punto de muestreo.

Puntos de muestreo

Determinamos los puntos de muestreo por la existencia de 2 charcas de recolección de lixiviados y un cuerpo de agua superficial que sirve de tributario al Rio Cibuco. La charca de recolección de lixiviados al este del vertedero fue nuestro primer punto de muestreo (Punto 1) en las coordenadas 18°28'38 N, 66°21'28W. Se encuentra al lado este del SRS y consta de una charca de almacenamiento de lixiviado que resulta de un tubo de aproximadamente un pie de diámetro que proviene del interior del relleno sanitario.

El segundo punto de muestreo (Punto 2) fue la charca de recolección de lixiviados que se encuentra al lado oeste de la celda activa. El mismo está ubicado en las coordenadas 18°28'47 N, 66°21'40W, al lado oeste del SRS en una segunda charca de colección de lixiviados. Éstos provenían de un orificio en la “pared” del SRS.

El tercer punto de muestreo (Punto 3) en las coordenadas 18°28'06 N, 66°21'25W, se determinó en el cuerpo de agua que pasa por debajo de la vía principal de acceso al vertedero. Dicho cuerpo de agua fluye al Río Cibuco.

Parámetros analizados

pH

Determiné el pH utilizando un medidor de pH de Orion Research Inc., modelo 230 A+, calibrado por Metro Tech Corp. Pace Analytical nos proveyó con los *buffers* para calibrar el instrumento. Calibramos el mismo antes de cada muestra y lo limpiamos con agua destilada una vez calibrado. Utilizamos el medidor de pH, colocándolo directamente en la muestra.

Oxígeno disuelto (OD)

Usé un medidor Oakton YSI 55 para determinar el oxígeno disuelto. Hicimos esta prueba in situ justo en el momento en que tomamos la muestra.

Temperatura

Hice la medición de temperatura al momento de la toma de muestra utilizando el termómetro Hart Scientific integrado al medidor de oxígeno disuelto. El mismo cuenta con una precisión de +/- 0.025 grados Celsius.

PAH

El laboratorio Pace Analytical del Caribe analizó las muestras de los lixiviados utilizando el método 8270c requerido por la EPA para el análisis de compuestos semivolátiles. El método 8270c incluye:

- Preparación de muestras mediante el uso del método de muestreo de compuestos semivolátiles en desperdicios sólidos de la EPA. Este método es necesario para análisis mediante el uso de cromatografía de gas/espectrometría de masa.
- Introducción de los semivolátiles mediante inyección del extracto de la muestra al cromatógrafo de gas con una columna capilar.
- Programar la temperatura de la columna para separar los analitos, los cuales pasan a ser detectados por el espectrómetro de masa que está conectado al cromatógrafo de gas.
- Comparación del espectro de masa con el impacto del espectro estándar del electrón para identificar los analitos.
- Introducción de los analitos levigados al espectrómetro de masa.
- Comparación de un ion mayor con relación a un estándar interno usando una curva de calibración de 5 puntos para cuantificar los analitos.

Rotulación y documentación del muestreo

Los datos tomados in situ se colocaron en una hoja de datos preparada con anticipación al muestreo (Apéndice 1). Todos los frascos utilizados llevaron un etiquetado el cual incluyó la fecha, hora y punto de muestreo al cual perteneció la muestra. Hicimos la rotulación de los frascos al momento de tomar las muestras para incluir la hora exacta (Apéndice 2).

Preservación y manejo de la muestra

Tomamos las muestras en frascos de vidrio color ámbar para evitar que los semivolátiles se vieran afectados por la luz solar. Colocamos tapas de rosca en cada frasco según íbamos recolectando las muestras. Una vez tomadas las muestras, éstas fueron preservadas a una temperatura de 4°C hasta entregarlas al laboratorio Pace Analytical del Caribe el cual estuvo a cargo de analizar las mismas y seguir la cadena de custodia (Apéndice 3).

Medidas de seguridad

Para nuestra seguridad, no entramos en contacto directo con la muestra en ningún momento. Pace Analytical nos proveyó el equipo de muestreo necesario. Utilizamos guantes de látex, zapatos cerrados y un colector de muestras de aproximadamente 3 pies de largo.

Descripción del muestreo

El día 24 de agosto de 2009, nos dirigimos al SRS de Vega Baja. Estuvo lloviendo durante todo el camino al mismo. Una vez llegamos al lugar a las 9:00 am, la lluvia se tornó intermitente hasta que dejó de llover a aproximadamente a las 11 de la mañana. En el lugar se encontraba el

Sr. Pablo Pérez, encargado de la operación del SRS. Notamos que el lugar de estacionamiento tanto de los operadores del SRS como el de los visitantes, se encuentra contiguo a la charca de lixiviados al este de la celda activa del SRS. Procedimos a hacer la toma de muestras y a determinar temperatura, pH y OD (Tabla 1).

Una vez obtenidas las muestras, colocamos las mismas en una nevera portátil con hielo. Llevamos las mismas directamente a las oficinas de Pace Analytical donde llevaron a cabo los análisis de detección de presencia de hidrocarburos policíclicos aromáticos.

En nuestra segunda visita al SRS no estaba lloviendo aunque durante esa semana llovió intermitentemente. Llegamos aproximadamente a las 9:00 am. Una vez mas, procedimos a tomar las muestras y datos in situ (Tabla 2). Llevamos las muestras directamente a las oficinas de Pace Analytical para la detección de lixiviados. Mantuvimos las mismas en una nevera portátil con hielo para preservarlas a temperatura aproximada de 4°C.

Riesgo para comunidades potencialmente expuestas

Comunidades aledañas a la zona de estudio

A unos 1.23 kilómetros (Km) de distancia al nordeste de la celda activa del SRS de Vega Baja se encuentra Cerro Gordo. Esta zona incluye la playa de Cerro Gordo y urbanizaciones de gran atractivo turístico.

Otra de las comunidades aledañas lo es Sabana. La misma se encuentra a unos 1.60 km al sureste de distancia de la celda activa del SRS. La zona es comprendida por desarrollo urbano. También así, lo es la comunidad Breñas en Vega Alta, la cual se encuentra localizada a unos 2.63 km al este de la zona de estudio.

Más alejadas se encuentran las comunidades Monserrate y Los Naranjos a unos 4.53 y 4.73 km del SRS respectivamente. Monserrate se encuentra directamente al Sur del SRS de Vega Baja mientras que Los Naranjos es un área al suroeste del mismo (Figura 7). Además de contar con estas zonas pobladas, en la cercanía del SRS de Vega Baja se encuentran un lugar como superfondos por la EPA, V&M/ALBADEJO (Figura 8). El mismo se encuentra en el Bo. Almirante Norte de Vega Baja, al sur a aproximadamente 7 km del SRS de Vega Baja.

Servicio de Agua Potable

Las comunidades del Municipio de Vega Baja y los municipios contiguos a éste se abastecen primordialmente de los pozos de agua potables de localización fija denominados por la AAA (Tabla 2).

Análisis espacial para la identificación pozos de abastecimiento

Fuente de datos

Utilizamos datos de la localización de los pozos activos de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados en el SRS de Vega Baja. Obtuvimos datos del flujo direccional de las aguas subterráneas del acuífero del norte a través de documentos de la oficina *de United States Geological Survey (USGS)* para Puerto Rico.

Análisis espacial

Llevamos a cabo un análisis espacial con los datos obtenidos sobre la localización de los pozos y el flujo direccional de las aguas subterráneas del acuífero del norte utilizando un mapa aéreo del área de estudio. Utilizamos las herramientas *Geografic Information System (GIS)* y *Google Earth* para sobreponer las diferentes capas de información. Compararemos la

localización de los lixiviados y el pozo con el flujo de las aguas subterráneas con la intención de evaluar la posibilidad de que los lixiviados representen una manera de exposición directa a los PAHs.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Introducción

Comparamos las concentraciones de los PAHs presentes en las muestras de lixiviados con los límites de exposición permitidos por la EPA en la Ley de Federal de Agua Potable Segura y determinaremos cuáles de los compuestos exceden las estipulaciones de dicha reglamentación. Llevamos a cabo una comparación de las concentraciones encontradas en los puntos de muestreo para determinar si hay una relación logarítmica entre la concentración de los PAHs y la distancia de éstos con referencia al SRS.

Llevamos a cabo una toma de datos generales para denotar si alguno cumplía como indicador de irregularidades en los lixiviados del vertedero y el tributario del Río Tributos. Los datos generales que adquirimos in situ fueron el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto (Tabla 2). Los datos obtenidos no probaron ser muy fuera de lo normal ya que el pH se mantuvo en una gama de 7 a 9, el oxígeno disuelto se mantuvo entre 1 y 2, y la temperatura era de esperarse debido a las condiciones del tiempo.

Objetivo #1 Detectar PAHs presentes en los lixiviados del SRS de Vega Baja para evaluar la resurgencia de los mismos en los pozos cercanos al área de estudio.

No detectamos presencia de PAHs en los lixiviados del SRS de Vega Baja ni en las aguas superficiales del tributario al río Cibuco. Según los resultados de los análisis de detección para dichos compuestos realizado por Pace Analytical, los mismo no se

encontraban presentes ni excedían los parámetros de una muestra de prueba [blank] que se analizó (Tabla 3).

Objetivo #2 Realizar un análisis espacial para identificar pozos de abastecimiento en las comunidades cercanas y el movimiento de aguas subterráneas mediante la utilización de mapas.

Analizando la localización de los pozos fijos de extracción de agua potable actualmente activos (Figura. 8) con la dirección en que transcurre el agua a través de los acuíferos de la Zona Cárstica del Norte, podemos determinar que la probabilidad de que éstos se vean afectados es mínima.

Según documentación del USGS, el flujo de agua subterránea en los acuíferos del norte ocurre de sur a norte desde Vega Alta en dirección a la Costa Norte de la Isla (Figura 9). De haber una contaminación de las aguas la misma surgiría de la resurgencia o recirculación de las aguas dentro del acuífero y dependería principalmente de la contaminación del Río Cibuco. Desde manatí el agua subterránea también surge de sur a norte pero tiende a fluctuar en dirección este por lo cual no se ve afectado por la operación del SRS de Vega Baja.

Aun así, la zona de V&M/Albaladejo determinada como superfondo por EPA si afecta directamente las aguas subterráneas del acuífero del norte. Está localizada sobre el sistema de roca caliza que caracteriza la Zona Cárstica del Norte. De las aguas subterráneas estar contaminadas, esta zona superfondo y el antiguo vertedero de Vega Baja serían probablemente los puntos de origen responsables de dicha contaminación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Podemos dar por nula nuestra hipótesis de presencia de PAHs en los lixiviados del SRS de Vega Baja ya que no encontramos presencia de los mismo en las muestras tomadas. Aún así esto no descarta la posibilidad de que los mismos se encuentren en el sedimento de las charcas de recogido de lixiviados, en los sedimentos del río Cibuco y sus tributarios, o en el aire.

Recomendaciones

Debido a que no encontramos presencia de PAH's en los lixiviados del SRS de Vega Baja y a la naturaleza de la formación de los mismos, recomiendo un estudio de los sedimentos de las charcas de lixiviados de éste. La composición de los PAHs los hace más probables a estar presentes en los sedimentos y una muestra directa de los mismos serviría como posible método de detección de PAH en los lixiviados del SRS.

Teniendo en consideración el que la quema de basura es una de las mayores vías para la formación de los PAH's, recomiendo estudiar nuevamente los lixiviados del SRS de Vega Baja. Esta recomendación es basada en la ocurrencia de un incendio en febrero 15 de 2010. El mismo fue originado por hogueras clandestinas preparadas por individuos ajenos a la propiedad con el fin de recuperar materiales (Alvarado, 2010). El incendio se salió de control quemando así una cantidad considerable de desperdicios sólidos. Por tal razón, habría que considerar la posibilidad de que este suceso haya resultado en la creación de PAHs y el que éstos estén contaminando las aguas aledañas al SRS. Cabe

recalcar que cuando ocurrió el incendio el SRS de Vega Baja aún se encontraba operando aunque se supone hubiese cesado operaciones y estuviesen llevando a cabo los procesos de cierre según acordado con la EPA.

También recomiendo el que se lleve a cabo un estudio comparativo de la incidencia de cáncer en las comunidades aledañas al área de estudio. El mismo podría hacer una comparación de la incidencia de cáncer antes del cierre del vertedero localizado en Rio Abajo, luego de la apertura del SRS de Vega Baja y la incidencia actual. Un estudio como este tiene el potencial de demarcar si el manejo de los desperdicios sólidos en esta zona tiene una correlación con el incremento de casos de cáncer reportados para el municipio.

Limitaciones

Durante la realización del proyecto tuvimos una serie de dificultades. Uno de los factores que afectó la realización del muestreo fue el clima. La lluvia durante el momento de toma de muestras alteró la concentración de las mismas y dificultó la documentación de los datos in situ.

Otra de las limitaciones del estudio fue la burocracia para conseguir el acceso a los predios de SRS de Vega Baja. Inicialmente pensamos en llevar a cabo el estudio en otras instalaciones de relleno sanitario y nuestro esfuerzo resultó infructuoso ya que fuimos ignorados o denegados por diferentes funcionarios de gobierno. También entendemos que algunos de estos individuos asumieron que nuestra presencia en la instalación y los resultados de nuestro estudio, podrían tener resultados negativos, o más bien podrían resultar en multas por la Junta de Calidad Ambiental debido a nuestros hallazgos.

Este estudio da paso a otras investigaciones que deben de cubrir la evaluación de los PAHs en los sedimentos de las charcas de lixiviados y aguas superficiales a la zona como también muestreos de los pozos de agua subterráneas. Los mismos pueden estar presente y estar afectando directamente a las comunidades que se sirven de los servicios de agua que brinda el acuífero del norte. Aunque no estamos fuera del peligro que representan estos compuestos, debemos considerar el que los mismos no se encontraron en los lixiviados como un dato positivo y como el comienzo a una concientización de un problema que no se ha tomado en cuenta anteriormente.

De tener la oportunidad de realizar este proyecto investigativo nuevamente, tomaríamos en cuenta la posibilidad de que los PAHs fueran detectados con mayor probabilidad en los sedimentos de las charcas de lixiviados. Por tal razón las muestras serían tomadas de los sedimentos al fondo de la charca. También, tomaríamos muestras de agua los pozos de monitoreo del USGS para determinar la presencia de los PAHs.

LITERATURA CITADA

- Acros Organics NV. (2007). Material safety data sheet: Acenaphthylene. Recuperado de: <https://fscimage.fishersci.com/msds/02275.htm>.
- Administración de archivos y Records Nacionales. *Protection of the environment*. Capítulo 1, Subparte I del Código de Regulaciones Federales Número 40. Recuperado de: <http://www.epa.gov/lawsregs/search/40cfr.html>.
- Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (1972). *Ley federal de agua limpia* . 33 U.S.C. §1251 et seq.
- Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (1974). *Ley federal de agua potable segura*. 42 U.S.C. §300f et seq.
- Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (2007a). *Health effects notebook for hazardous air pollutants*. Recuperado de: <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapindex.html>.
- Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (2007b). *Vega Baja solid waste disposal site*. Recuperado de: <http://www.epa.gov/region2/superfund/npl/0202533c.pdf>.
- Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (2007c). *Municipalities Agree to Close Vega Baja and Florida Landfills; EPA Orders Land Authority and One Operator to Cooperate*. Recuperado de: http://www.epa.gov/region02/cepd/solidwaste_in_puerto_rico.html.
- Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (2008). *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Washington, DC: Office of Solid Waste.
- Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (2008b). *Benzo[b]fluoranthene*. Recuperado de: <http://www.epa.gov/iris/subst/0453.htm>.
- Agencia de Protección Ambiental de EEUU. (2008c). *Benzo[g,h,i]perylene*. Recuperado de: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/minimize/factshts/benzoper.pdf>.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (1995). *Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (1995). *Public health statement for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Recuperado de: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs69.html>.

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (1996). *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.
- Alexander, R., J. Tang & M. Alexander. (2002). Genotoxicity is unrelated to total concentration of priority carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in soils undergoing biological treatment. *J. Environ. Qual.* 31:150-154.
- Alfa Aesar. (2009). *Material safety data sheet: Fluorene*. Recuperado de: <http://www.alfa.com/content/msds/USA/L02124.pdf>.
- AL-Oud, S.S. (2002). Contamination of groundwater by organic chemicals in AL-Qassim Region, Saudi Arabia. *Mansora Univ. J. Agric. Sci.* 27(11): 7935-7942.
- Alvarado, G. (2010). Negligencia causó fuego en vertedero. *El Nuevo Día*. Recuperado de: <http://www.elnuevodia.com>.
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (2006). Informe sobre la calidad de agua potable 2006. Estado libre Asociado de Puerto Rico.
- Autoridad Carreteras y Traspotacion. (1976). *Estudio de subsuelo de la colonia Ceiba en la finca Cibuco de Vega Baja, PR*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Autoridad de Desperdicios Sólidos. (2007). *Reglamento para la prevención de la contaminación del 12 de febrero de 2007*. Reglamento número 7290.
- Cámara de Representantes de EEUU. *Ley para la conservación del carso en Puerto Rico*. Proyecto de Ley Núm. 672 de la Primera Sesión del Congreso Estadounidense.
- Cherry, G.S. (2001). *Simulation of flow in the upper north coast limestone aquifer, Manati-Vega Baja Area, PR*. San Juan, P.R.: U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey .
- Crabtree, R. H. (1995). Aspects of methane chemistry. *Chem. Rev.* 95: 987-1007.
- Delaware Health and Social Services. (2007). *Polycyclic aromatic hydrocarbons: frequently asked questions*. Recuperado de: <http://www.dhss.delaware.gov/dph/files/polycyahfaq.txt>.
- Departamento de Agricultura de EEUU. (1979). *Recomendaciones para el manejo de los desperdicios sólidos del SRS de Florida, PR*. (Disponible por el Departamento de Recursos Naturales Ambientales, Oficina de Archivo, Carretera 8838, km. 6.3, Sector El Cinco, San Juan, Puerto Rico 00936.)
- Departamento de Recursos Naturales Ambientales. (1999). *Ley para la protección y conservar de la fisiografía cársica de Puerto Rico*. Ley Núm. 292 de 21 de agosto de 1999 (P. de la C. 2364). Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

- Erigh, H. J. (1992). Cantidad y contenidos de lixiviados de rellenos de desechos domésticos. San José, Costa Rica: Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Fisher Scientific. (2007). *Material safety data sheet 1,2-Benzanthracene*. . Recuperado de: <https://fscimage.fishersci.com/msds/50930.htm>.
- García, J.V., S. Sánchez, P. Leyton & M. Campos. (2007). Detección de PAHs mediante espectroscopía SERS sobre superficies metálicas funcionalizadas con calixarenos. *Óptica Pura y Aplicada* 40(2): 227-233.
- Mercado, J.C. (2007). *Impact of leachate management via recirculation at the Vega Baja Landfill*. ITG Inc. Caguas, PR.
- Junta de Calidad Ambiental. (1978). *Orden de cese de operaciones del SRS de Vega Baja*. (Disponible por el Departamento de Recursos Naturales Ambientales, Oficina de Archivo, Carretera 8838, km. 6.3, Sector El Cinco, San Juan, Puerto Rico 00936.)
- Junta de Calidad Ambiental. (1978b). *Demanda por incumplimiento con el reglamento para el control de los desperdicios sólidos*. (Disponible por el Departamento de Recursos Naturales Ambientales, Oficina de Archivo, Carretera 8838, km. 6.3, Sector El Cinco, San Juan, Puerto Rico 00936.)
- Junta de Calidad Ambiental. (1993). *Reglamento para el manejo de los desperdicios sólidos no peligrosos de 4 de octubre de 1993*.
- Junta de Calidad Ambiental. (2004). *Ley sobre política pública ambiental del 22 de septiembre del 2004*. LPRA 12§ 1121.
- Kabziński, A. & J. Cyran. (2002). Detection of Polycyclic aromatic hydrocarbons in water of Łódź. *Polish Journal of Environmental Studies* 11(6): 695-706.
- Karami A., P. Eghtesadi, H. Negarestan, O. Ranaei & A. Maghsoudlou.(2008). The role of three dimensional geometric descriptors of selected PAHS on inducing mortality in juvenile angel fish (*Pterophyllum scalare*). *Journal of Biological Sciences* 8(2): 314-320.
- Laali, K.K. & M. Tanaka. (1998). Persistent oxidation dications of carcinogenic PAHs: charge delocalization mapping in 7,12-dimethylbenzo[*a*]anthracenium, 3-methylcholanthrenium, 1-methylbenzo[*a*]anthracenium and in parent benzo[*a*]anthracenium dications. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2*: 2509-2514.
- Morales, E. (2007). *Evaluación de riesgo de los lixiviados provenientes del sistema de relleno sanitario del municipio de florida, Puerto Rico*. Disertación de tesis de

- maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, PR.
- Perera, F. D., Tang, V., Rauh, Y., Hsuan, W., Yanni, M., Becker, J., Stein, J., King, G., Del Priore & S., Lederman. (2007). Relationship between polycyclic aromatic hydrocarbon–DNA adducts, environmental tobacco smoke, and child development in the World Trade Center cohort. *Environmental Health Perspectives* 115(10):1497-1502.
- Physical & Theoretical Chemistry Lab. Safety. (2003a). *Safety data for anthracene*. Recuperado de: <http://msds.chem.ox.ac.uk/AN/anthracene.html>
- Physical & Theoretical Chemistry Lab. Safety. (2003b). *Safety data for benzo[b]fluoranteno*. Recuperado de: <http://msds.chem.ox.ac.uk/BE/benzo%5bb%5dfluoranthene.html>.
- Physical & Theoretical Chemistry Lab. Safety. (2005a). *Safety data for benzo[k]fluoranteno*. Recuperado de: <http://msds.chem.ox.ac.uk/IN/indeno%5B1,2,3-cd%5Dpyrene.html>.
- Physical & Theoretical Chemistry Lab. Safety. (2005b). *Safety data for chrysene*. Recuperado de: <http://msds.chem.ox.ac.uk/CH/chrysene.html>.
- Physical & Theoretical Chemistry Lab. Safety. (2006). *Safety data for benzo(a)pyrene*. Recuperado de: [http://msds.chem.ox.ac.uk/BE/benzo\(a\)pyrene.html](http://msds.chem.ox.ac.uk/BE/benzo(a)pyrene.html).
- Physical & Theoretical Chemistry Lab. Safety. (2007). *Safety data for anthracene*. Recuperado de: <http://msds.chem.ox.ac.uk/AN/anthracene.html>.
- Science Lab. (2008). *Material safety data sheet acenaphthene*. Recuperado de: <http://www.sciencelab.com/xMSDS-Acenaphthene-9922765>.
- Sharma, A., Neekrah A., Gramajo A.L., Patil J., Chwa M., Kuppermann B.D & M. C. Kenney (2008). Effects of benzo(e)pyrene, a toxic component of cigarette smoke, on human retinal pigment epithelial cells in vitro. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 49:5111-5117. doi:10.1167/iovs.08-2060.
- Sigma-Aldrich. (2003). *Benzo[g,h,i]peylene material safety data sheet*. Recuperado de: http://www.sigmaaldrich.com/catalog/ProductDetail.do?D7=0&N5=SEARCH_C ONCAT_PNO%7CBRAND_KEY&N4=b9009%7CALDRICH&N25=0&QS=O N&F=SPEC.
- Sigma-Aldrich. (2004). *Benzo[e]pyrene material safety data sheet*. Recuperado de: http://www.sigmaaldrich.com/catalog/ProductDetail.do?D7=0&N5=SEARCH_C

ONCAT_PNO%7CBRAND_KEY&N4=B10102%7CALDRICH&N25=0&QS=ON&F=SPEC.

Singh, V., D. Patel, S. Ram, N. Mathur, K. Siddiqui & J. Behari (2008). Blood levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in children of Lucknow, India. *Arch Environ Contam Toxicol.* 54:348–354.

Spectrum Laboratories. (2008). *Chemical fact sheet: benzo[k]fluoranthene*. Recuperado de: <http://www.speclab.com/compound/c207089.htm>.

Spectrum Laboratories. (2008b). *Chemical fact sheet: benzo[j]fluoranthene*. Recuperado de: <http://www.speclab.com/compound/c205823.htm>.

Spectrum Laboratories. (2008c). *Chemical fact sheet: fluorene*. Recuperado de: <http://www.speclab.com/compound/c86737.htm>.

Spectrum Laboratories. (2008d). *Chemical fact sheet: indeno(1,2,3-cd)pyrene*. Recuperado de: <http://www.speclab.com/compound/c193395.htm>.

Spectrum Laboratories. (2008e). *Chemical fact sheet: phenanthrene*. Recuperado de: <http://www.speclab.com/compound/c85018.htm>.

Spectrum Laboratories. (2008f). *Chemical fact sheet: dibenzo[a,h]anthracene*. Recuperado de: <http://www.speclab.com/compound/c53703.htm>.

Spectrum Laboratories. (2008g). *Chemical fact sheet: pyrene*. Recuperado de: <http://www.speclab.com/compound/c129000.htm>.

Spectrum Laboratories. (2008h). *Chemical fact sheet: fluoranthene*. Recuperado de: <http://www.speclab.com/compound/c206440.htm>

Veve, T. D, & Taggart, B. E. (1996). *Atlas of ground-water resources in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands*. San Juan, P.R.: U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey .

Woodward, E. & S. Snedeker (2001). *Polycyclic aromatic hydrocarbons and breast cancer risk*. Cornell University, NY: Institute for Comparative Environmental Toxicology.

Zakaria, M., K. Hiaw, W. Yoon & R. Hayet. (2005). Landfill leachate as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to malaysian waters. *Coastal Marine Sciences* 29(2): 116-123.

TABLAS

Tabla 1.

Listado de pozos activos de AAA

Area	PWSID	Sistema	Nombre Instalación	Status Actual	Dirección	Pueblo
Manatí	2972	Pugnado Vega Baja	Pugnado I	P	CARR. 165 KM 64.4 Bo. Pugnado	Vega Baja
Manatí	2772	Urbano	Algarrobo	P	CARR. 2 KM 42.0	Vega Baja
Manatí	2972	Pugnado	Pugnado II	P	CARR. 155 KM 64.5 Pugando Afuera	Vega Baja
Manatí	3722	Almirante Norte	Almirante Norte II (Mecánico)	P	CARR. 160 KM 3.9 Bo. Almirante	Vega Baja
Manatí	3722	Almirante Norte	Almirante Norte III (Acerola)	P	CARR. 160 km 2.8 Bo. Almirante	Vega Baja
Manatí	3722	Almirante Norte	Arraiza	P	CARR. 675 km 0.5 Bo. Almirante Norte	Vega Baja
Manatí	3842	Alturas	Alturas	P	CARR. 155 KM 65.7 Int	Vega Baja
Manatí	3842	Alturas	Vega Baja II (La Gloria)	P	CARR. 2 KM 39.9 El Criollo Bo. Algarrobo	Vega Baja
Manatí	3842	Alturas	Villa Pinares	P	Urb. Villa Pinares	Vega Baja
Manatí	2942	Monte Bello	Monte Bello II (Parque)	P	CARR. 149 R 642 KM 6.9 Bo. Montebello	Manatí
Manatí	2942	Monte Bello	Monte Bello IV (Riachuelo)	P	CARR. 641 KM 57.0 Bo. Montebello	Manatí
Manatí	2942	Monte Bello	Monte Bello V (Policia)	P	CARR. 149 R 641 Bo. Montebello	Manatí
Manatí	3262	Manatí Este	Coto Sur IV (Mónaco)	P	CARR. 668 KM 0.7	Manatí

Manatí	3852	Franquez	Franquez	P	CARR. 155 KM 55.4	Morovis
Toa Alta	5587	Sabana Hoyos	Monserrate	P	CARR. 676 KM 8.5	Vega Alta
Toa Alta	5587	Sabana Hoyos	Sabana Hoyos I	P	CARR. 690 KM 4.0	Vega Alta
Toa Alta	5587	Sabana Hoyos	Sabana Hoyos II	P	CARR. 690 KM 4.0	Vega Alta
Toa Alta	5587	Sabana Hoyos	Sabana Hoyos III	P	CARR. 689 Calle 3 Esq. 1	Vega Alta
Manatí	3262	Manatí Este	Córdova Dávila	P	Cordova Dávila	Manatí

Tabla 2.

Datos obtenidos in situ durante muestreos

	Punto	Hora (am)	ID Muestra	Temperatura (°C)	pH	O2 Disuelto
Primer muestreo						
	1	9:40	LIXVB01	29.4	8.36	1.98
	2	10:25	LIXVB02	28.6	6.46	1.49
	3	11:05	LIXVB03	28.4	7.37	1.79
Sagundo muestreo						
	1	9:28	LIXVB04	33.9	7.96	1.12
	2	9:50	LIXVB05	31.1	8.19	1.29
	3	10:20	LIXVB06	28	7.46	2.55

Tabla 3.

Resultados de detección de PAHs en muestras

LIXVB01

Units: <u>ug/L</u>						
Analyte	Dilution	Result	Qu	Reporting Limit	Reg Limit	Analysis
Acenaphthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Acenaphthylene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Benzo(a)anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Benzo(b)fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Benzo(k)fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Benzo(g,h,i)perylene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Benzo(a)pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Chrysene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Dibenz(a,h)anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Fluorene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
2-Methylnaphthalene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Naphthalene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Phenanthrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35
Pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 19:35

LIXVB02

Units: ug/L

Analyte	Dilution	Result	Qu	Reporting Limit	Reg Limit	Analysis
Acenaphthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Acenaphthylene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Benzo(a)anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Benzo(b)fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Benzo(k)fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Benzo(g,h,i)perylene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Benzo(a)pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Chrysene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Dibenz(a,h)anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Fluorene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
2-Methylnaphthalene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Naphthalene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Phenanthrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03
Pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:03

LIXVB03

Units: ug/L

Analyte	Dilution	Result	Qu	Reporting Limit	Reg Limit	Analysis
Acenaphthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Acenaphthylene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Benzo(a)anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Benzo(b)fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Benzo(k)fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Benzo(g,h,i)perylene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Benzo(a)pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Chrysene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Dibenz(a,h)anthracene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Fluoranthene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Fluorene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
2-Methylnaphthalene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Naphthalene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Phenanthrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31
Pyrene	1	ND		10.0		28-Aug-09 20:31

LIXVB04

Units: ug/L

Analyte	Dilution	Result	Qu	Reporting Limit	Reg Limit	Analysis
Acenaphthene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Acenaphthylene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Anthracene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Benzo(a)anthracene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Benzo(b)fluoranthene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Benzo(k)fluoranthene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Benzo(g,h,i)perylene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Benzo(a)pyrene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Chrysene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Dibenz(a,h)anthracene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Fluoranthene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Fluorene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
2-Methylnaphthalene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Naphthalene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Phenanthrene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15
Pyrene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:15

LIXVB05

Units: ug/L

Analyte	Dilution	Result	Qu	Reporting Limit	Reg Limit	Analysis
Acenaphthene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Acenaphthylene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Anthracene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Benzo(a)anthracene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Benzo(b)fluoranthene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Benzo(k)fluoranthene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Benzo(g,h,i)perylene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Benzo(a)pyrene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Chrysene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Dibenz(a,h)anthracene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Fluoranthene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Fluorene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
2-Methylnaphthalene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Naphthalene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Phenanthrene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43
Pyrene	4	ND	D2	40.0		11-Sep-09 18:43

LIXVB06

Units: ug/L

Analyte	Dilution	Result	Qu	Reporting Limit	Reg Limit	Analysis
Acenaphthene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Acenaphthylene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Anthracene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Benzo(a)anthracene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Benzo(b)fluoranthene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Benzo(k)fluoranthene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Benzo(g,h,i)perylene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Benzo(a)pyrene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Chrysene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Dibenz(a,h)anthracene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Fluoranthene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Fluorene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
2-Methylnaphthalene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Naphthalene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Phenanthrene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14
Pyrene	1	ND		10.0		03-Sep-09 22:14

FIGURAS



Figura 1. SRS del Municipio de Vega Baja

Fuente: Agencia de Protección Ambiental, 2006.

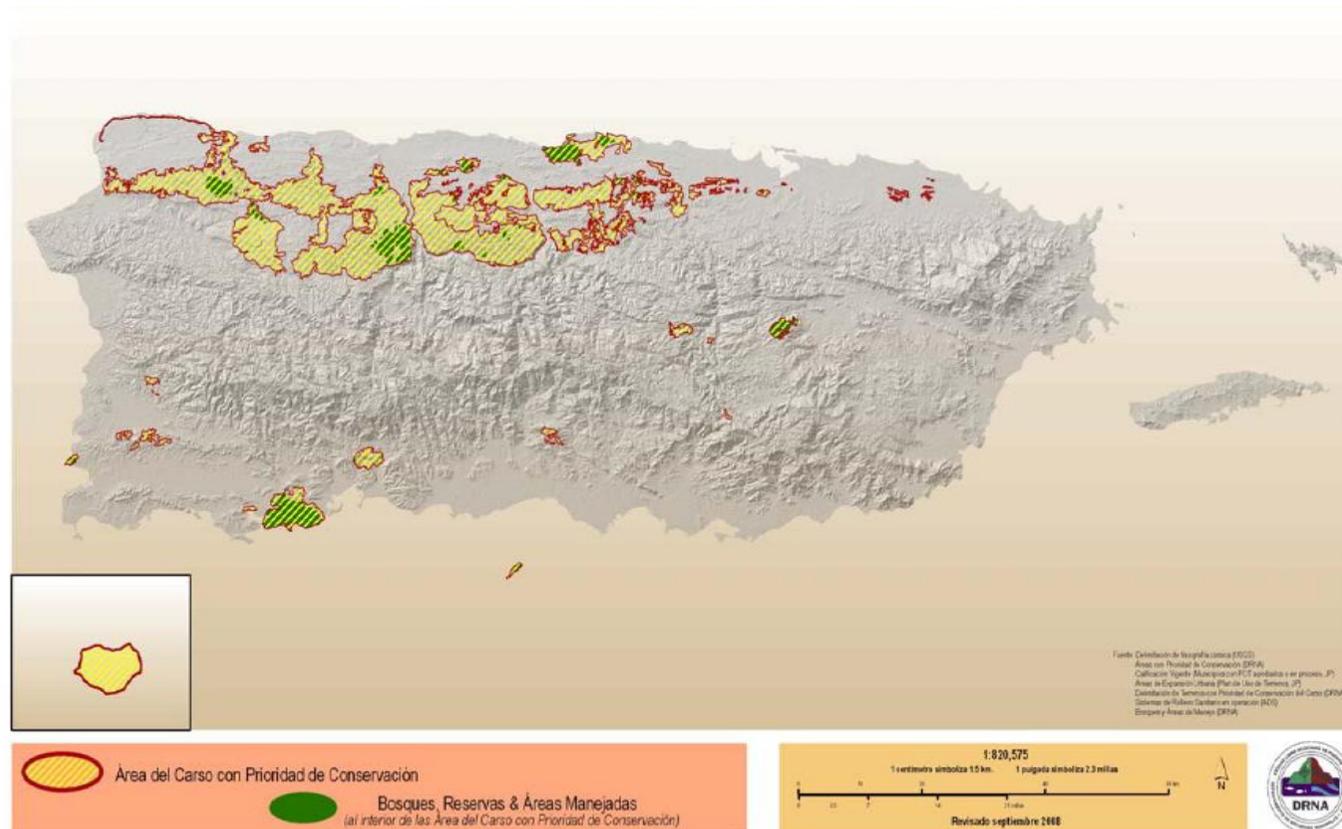


Figura 2. Terrenos del Carso con Prioridad de Conservación.

Fuente: DRNA, 2008.

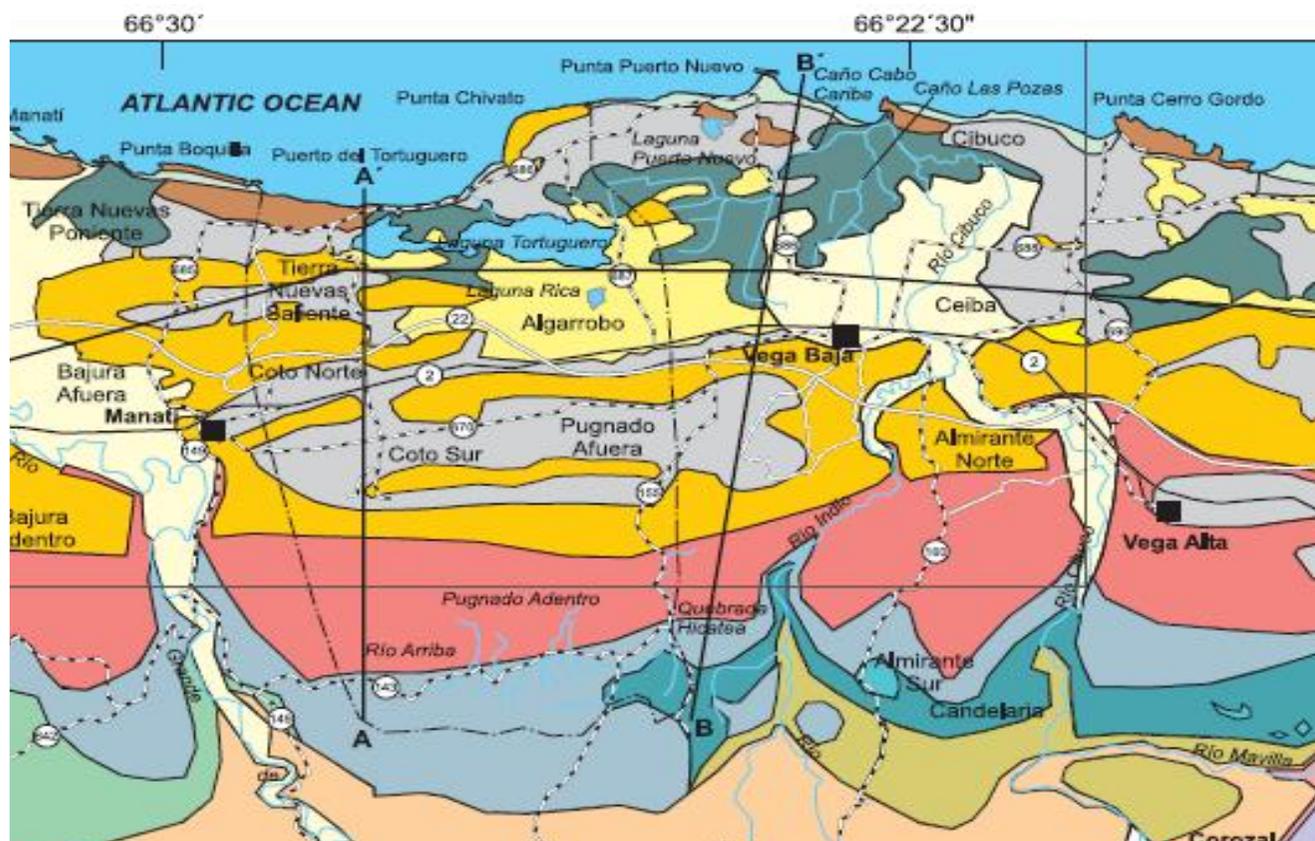


Figura 3. Mapa de la geología general del cuadrante de Manatí – Vega Baja.

Fuente: USGS, 2001.

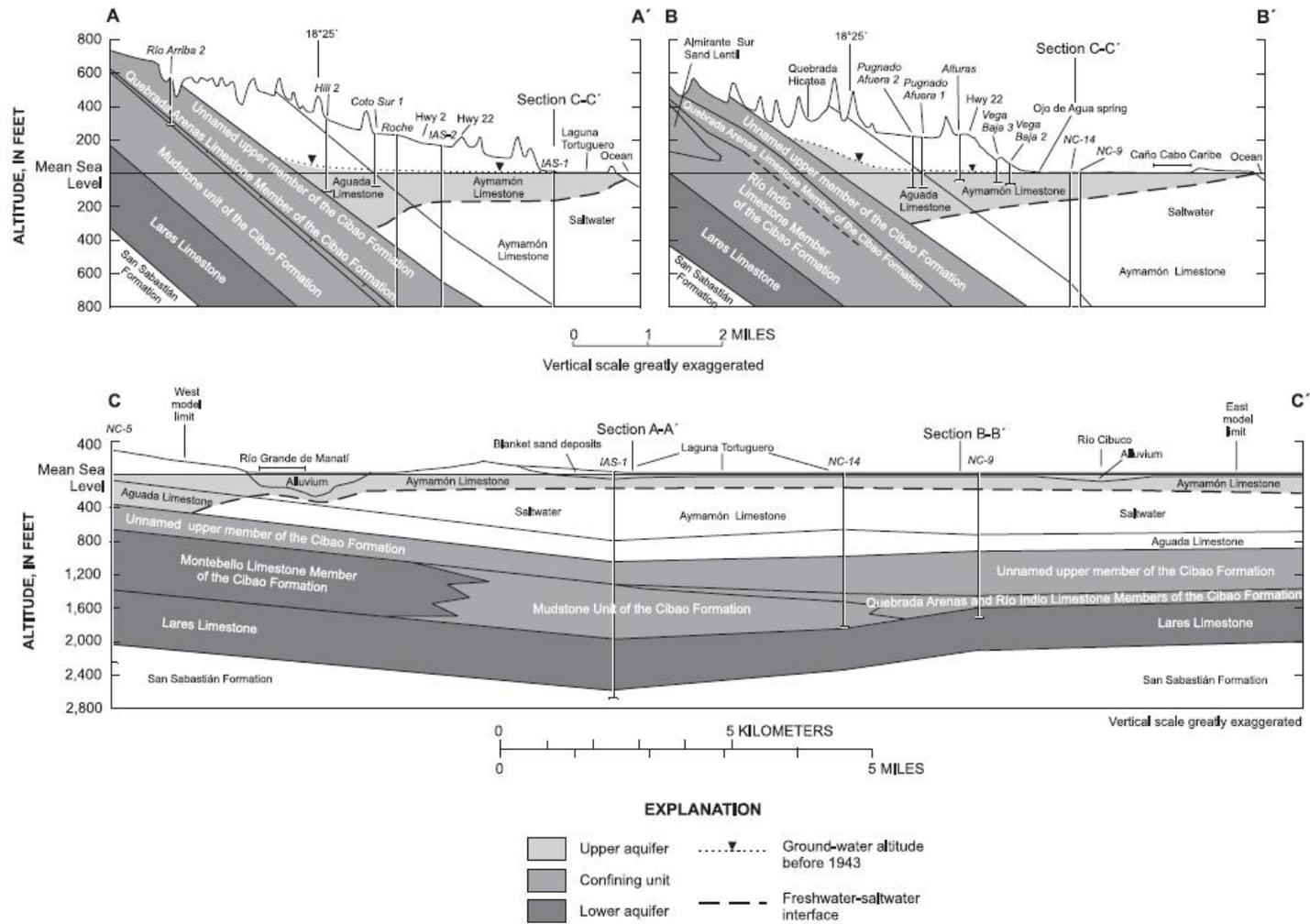


Figura 4. Hidrogeología general de la costa norte del cuadrante Manatí – Vega Baja

Fuente: USGS, 2001

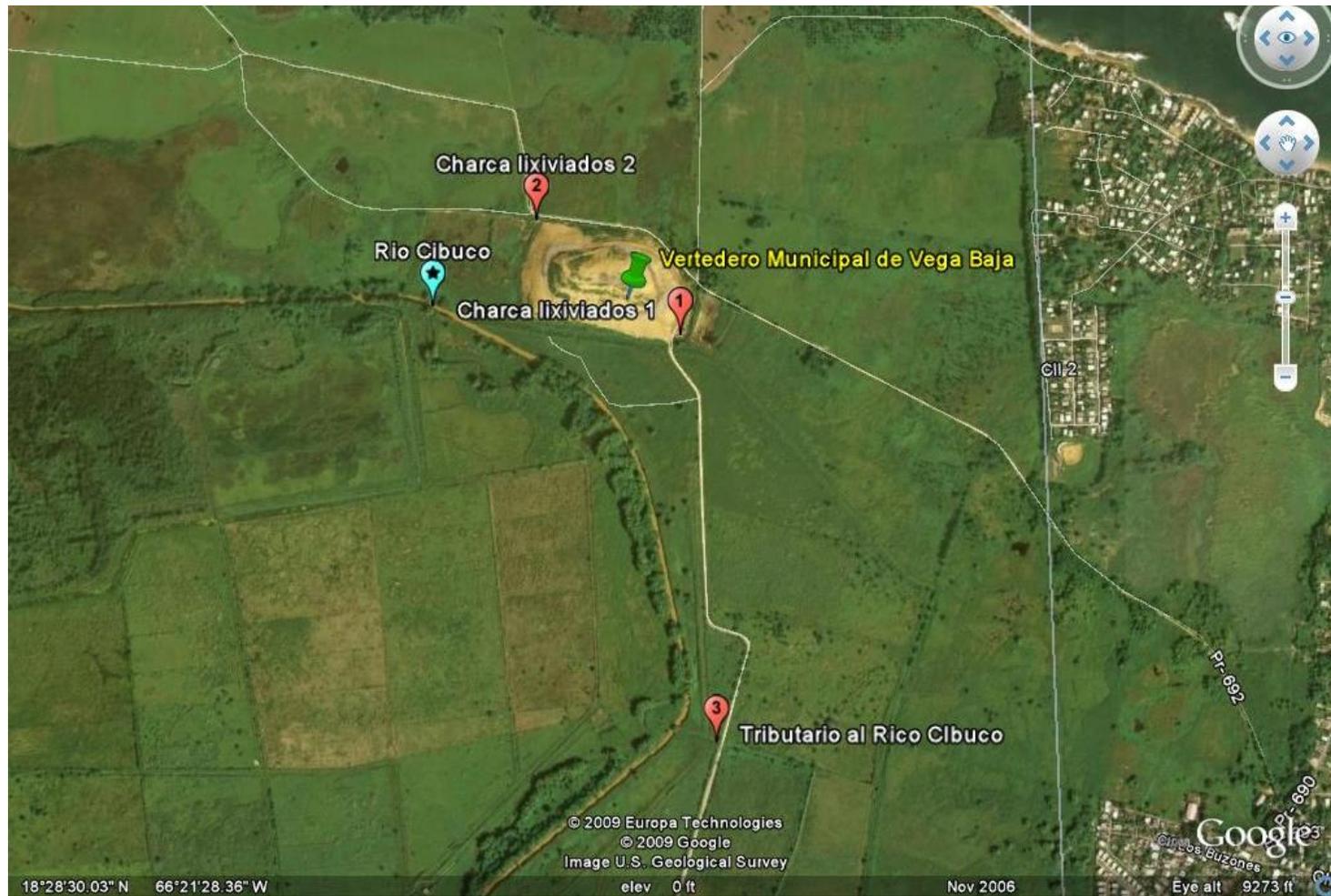


Figura 5. Puntos de toma de muestras de lixiviados.

Fuente: Google Earth, 2006.

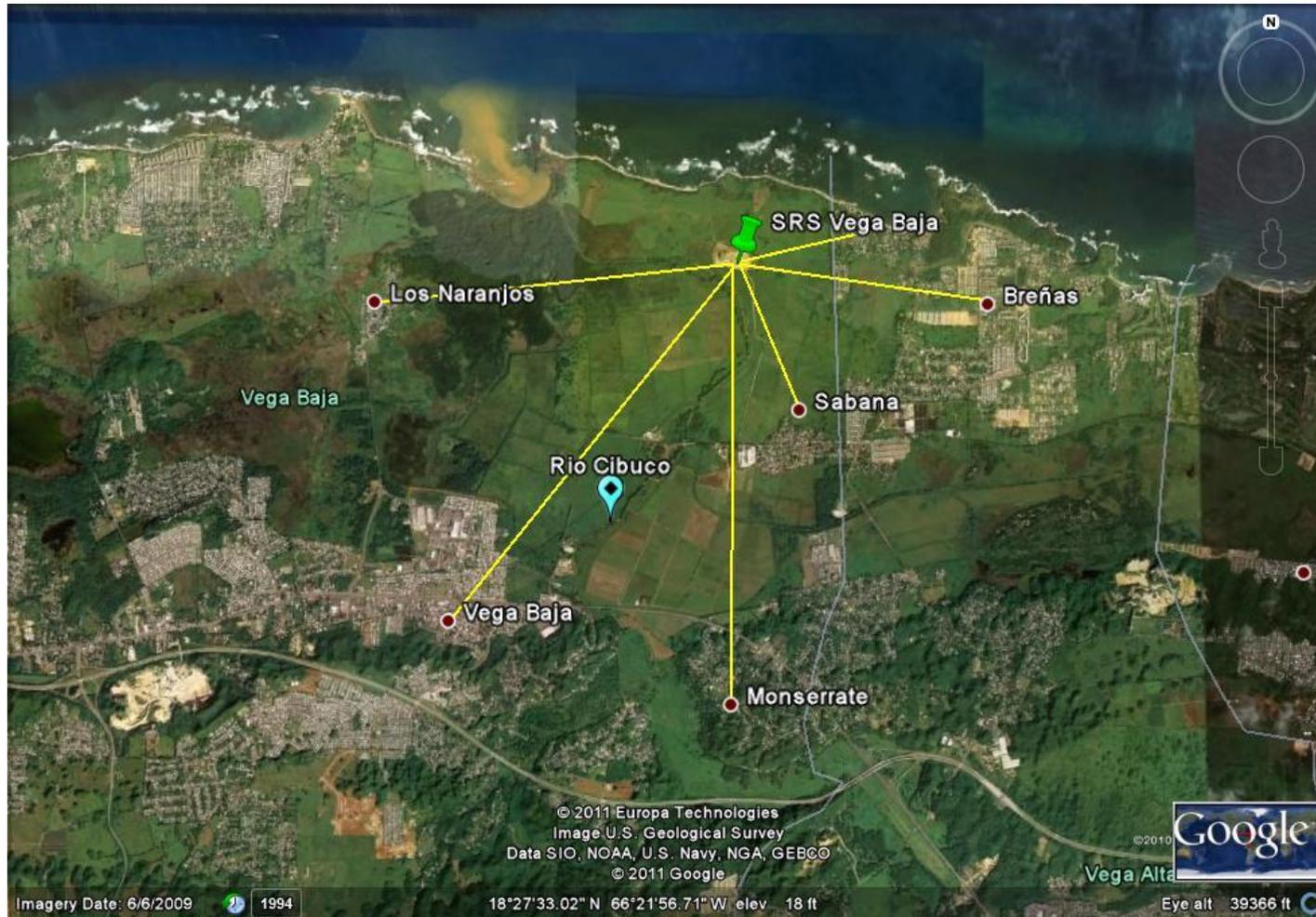


Figura 6. Comunidades aledañas al área de estudio

Fuente: Google Earth, 2009

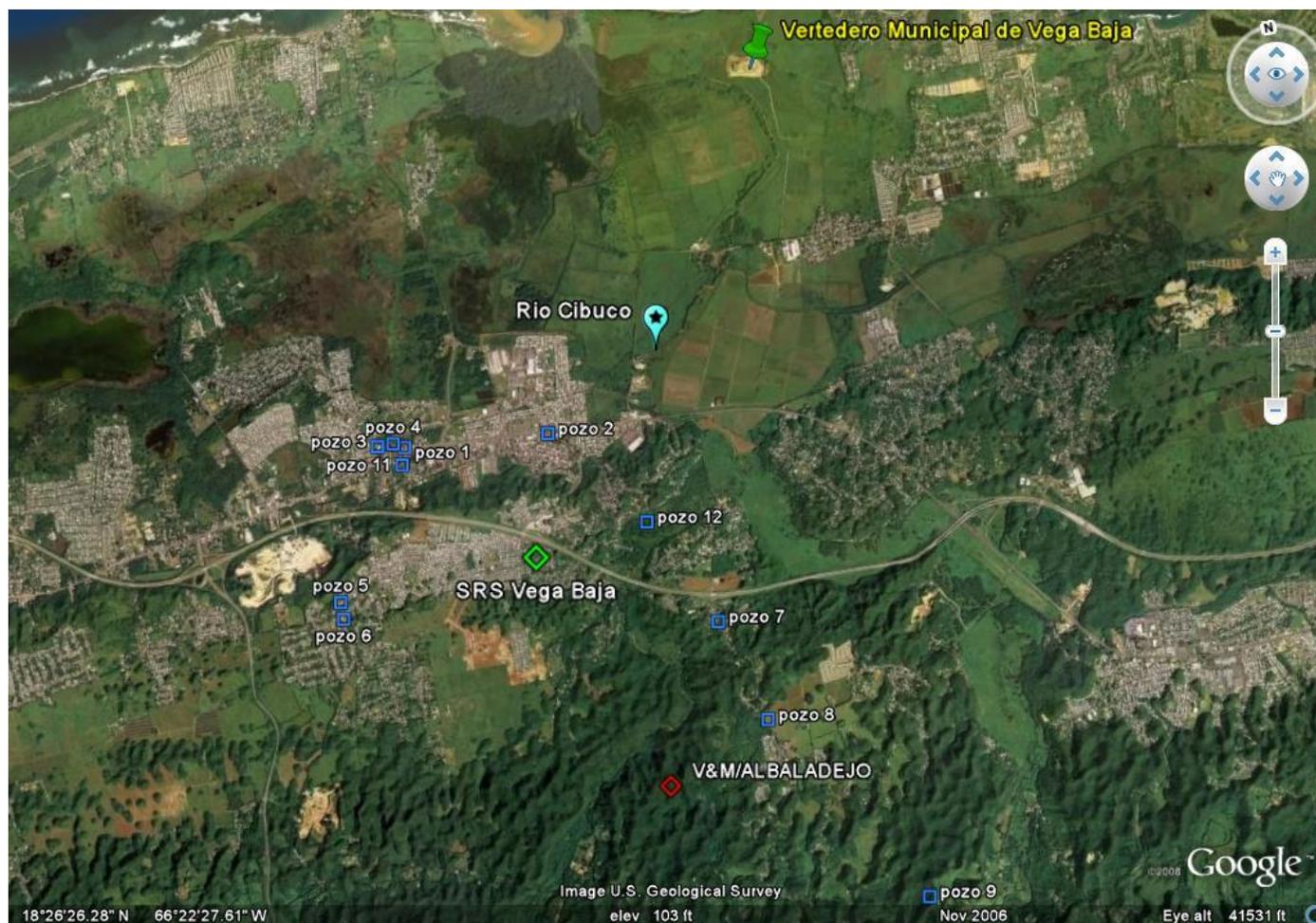


Figura 7. Lugares designados como Superfondo en el Municipio de Vega Baja.

Fuente: Google Earth, 2006



Figura 8. Pozos de Agua Potable Identificados por PRASA.

Fuente: Google Earth, 2009.

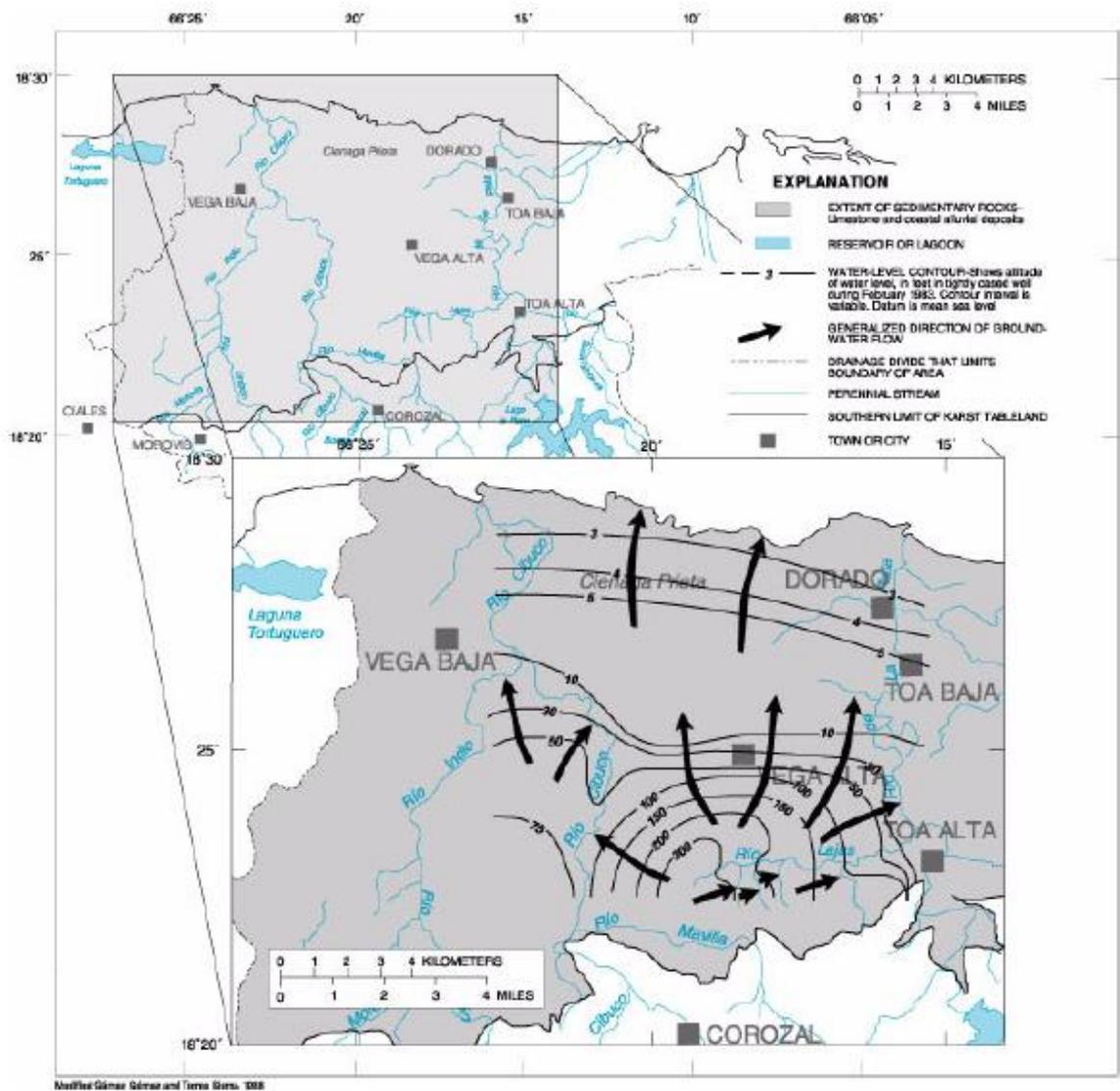


Figura 9. Dirección del flujo de aguas subterráneas propuesta por USGS.

Fuente: USGS 2001.

APÉNDICES

APÉNDICE 1
HOJA DE DATOS UTILIZADA PARA MUESTREO

Yaritzis Cassidy Nun Tesis de Maestría Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental					Escuela de Asuntos Ambientales Universidad Metropolitana San Juan, P.R.				
Localización:									
Hoja de Datos									
Fecha	Hora	Punto	Latitud	Longitud	ID muestra	Temperatura	pH	O ₂ disuelto	Propósito
<i>Observaciones:</i>						<i>Persona que tomó la muestra:</i>			

APÉNDICE 2
ETIQUETADO DE LOS FRASCOS DE MUESTRAS DE LIXIVIADOS PARA
ANÁLISIS DE PAH POR EL MÉTODO EPA 8270C



Pace Analytical Services, Inc.
1000 Riverbend Blvd., Suite F
St. Rose, LA 70087
(504) 469-0333

Client: _____

Client Sample ID: _____

Date Collected: _____ Time: _____

Collected by: _____

Analysis: _____

Preservative: None: HNO₃ H₂SO₄ NaOH HCl
 Na₂S₂O₃ MeOH Zn Acetate Other: _____

APÉNDICE 3
CADENAS DE CUSTODIO DE LAS MUESTRAS



CHAIN-OF-CUSTODY / Analytical Request Document

The Chain-of-Custody is a critical element in the analytical process. It is the responsibility of the sampler to ensure the integrity of the sample from collection to analysis.



2099031 98-Y CASSIDY

1 of 1
1242766

Section A Required Client Information:		Section B Required Project Information:		Attention:		REGULATORY AGENCY	
Company: <u>Yaritzis Cassidy</u>		Report To:		Company Name:		REGULATORY AGENCY	
City: <u>W.B. Kennedy Hills HgW</u>		Copy To:		Address:		<input type="checkbox"/> NPDES <input type="checkbox"/> GROUND WATER <input type="checkbox"/> DRINKING WATER <input type="checkbox"/> LST <input type="checkbox"/> RCRA <input type="checkbox"/> OTHER _____	
Box: <u>4953 TA, PR 00976</u>		Purchase Order No.:		Pace Quote Reference:		Site Location	
Email: <u>ycassidy@gmail.com</u>		Project Name:		Pace Project Manager:		STATE:	
Phone: <u>787-310-4660</u>		Project Number:		Pace Profile #:			
Requested Due Date: <u>10-24-09</u>							

# ITEM	SAMPLE ID (A-Z, 0-9, -) Sample IDs MUST BE UNIQUE	Matrix Codes MATRIX / CODE	MATERIAL CODE (see code to left)	SAMPLE TYPE (S-G, I, B, C-COMP)	COLLECTED				SAMPLE TEMP AT COLLECTION	# OF CONTAINERS	Preservatives							Analysis Test ↓ Y/N	Residual Chlorine (Y/N)	
					COMPOSITE START		COMPOSITE END/RAW				Unpreserved	H ₂ SO ₄	HNO ₃	HCl	NaOH	Na ₂ S ₂ O ₈	Methanol			Other
					DATE	TIME	DATE	TIME												
1	Lix VB 04				3/18	9:28			2											
2	Lix VB 05				3/18	9:50			2											
3	Lix VB 06				3/18	10:20			2											
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				

page 22 of 23

ADDITIONAL COMMENTS	RELINQUISHED BY / AFFILIATION	DATE	TIME	ACCEPTED BY / AFFILIATION	DATE	TIME	SAMPLE CONDITIONS			
	Yaritzis Cassidy	3/18/09	11:45	J. Scary (Pace)	3/18/09	11:45	27	Y	N	Y

ORIGINAL

SAMPLER NAME AND SIGNATURE		Temp in °C	Received on Ice (Y/N)	Custody Sealed Correct (Y/N)	Samples intact (Y/N)
PRINT Name of SAMPLER: Yaritzis Cassidy					
SIGNATURE of SAMPLER: <i>[Signature]</i>					
DATE Signed: 03/31/09					

Important Note: By signing this form you are accepting Pace's NET 30 day payment terms and agreeing to late charges of 1.5% per month for any invoices not paid within 30 days. F-ALL-Q-020rev.07, 15-May-2007